
Mecanismos

Prof.: MSc. Eng. Cristian Pohl Meinhardt.
Email: cristian.meinhardt@univates.br

Lajeado, Fevereiro de 2017.

Informações da Disciplina

Estrutura da disciplina

- Fundamentação teórica, exercícios para serem realizados em aula e exercícios para serem feitos em casa.
- Projeto de Mecanismo.
- Procurar trabalhar uma metodologia mais ativa.

Forma de avaliação

- 3 provas (P1, P2 e P3)
- 1 projeto (P4) – Entrega de relatório e Apresentação oral
- 1 recuperação (por área)

$$\text{Nota final} = 0,7 * ((P1 + P2 + P3) / 3) + 0,3 * P4$$

Informações da Disciplina

No que consiste o Projeto?

Em grupos, de no máximo 03 alunos, o Projeto consiste no Desenvolvimento de Teórico e Prático de um dos conteúdos.

- Sistemas articulados
- Síntese Cinemática
- Análise Cinemática de Mecanismos de Barras
- Mecanismos Intermitentes
- Juntas
- Engrenagens
- Trens de Engrenagens
- Cames e Seguidores

SAE BRASIL



Informações da Disciplina

Algumas necessidades detectadas:

- Sistema de amortecimento de vibrações para a cadeira do piloto.
- Sistema de amortecimento de impactos no semi-eixo dianteiro.

DESAFIO!



Informações da Disciplina

Pré-projeto realizado na disciplina de Hidráulica e Pneumática:

**Molas
Pneumáticas**

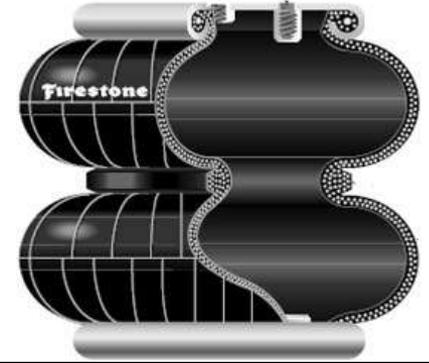
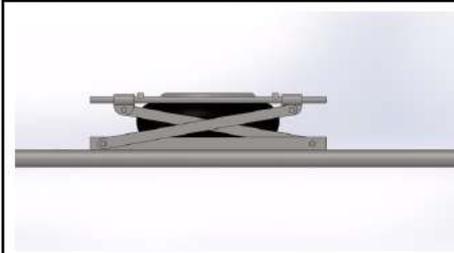
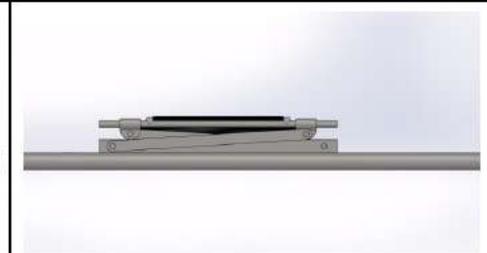


Figura 01 e 02: Vista lateral da mola

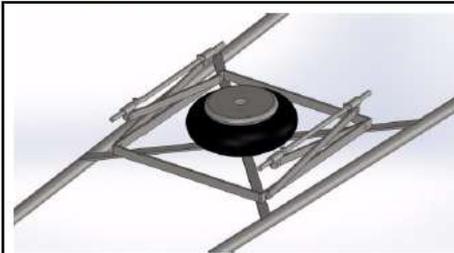


Vista lateral da mola aberta

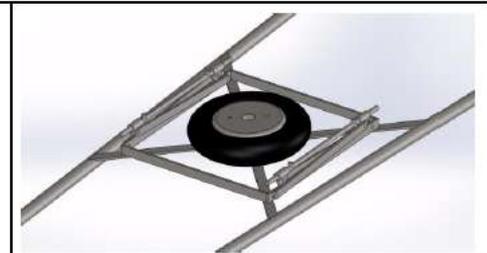


Vista lateral da mola fechada

Figura 03 e 04: Vista isométrica da mola



Vista isométrica da mola aberta



Vista isométrica da mola fechada



Informações da Disciplina

Algumas outras sugestões de mecanismo:

(Prof. Crespo fará uma palestra a respeito – 02/03)

(Prof. Carlos mostrará exemplos de mecanismos no Baja e necessidades de melhorias no Projeto – 02/03)

- Mecanismo geradores de linha reta (watt, chebiychev, entre outros).
- Trens de engrenagens
- Robôs (cadeias articuladas)
- Mecanismo de chaves.
- Sistema da barra de direção (composto de juntas universais).

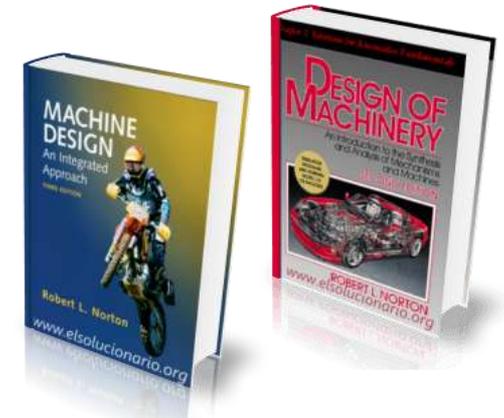


DESAFIO!

Bibliografia



Prof. Robert L. Norton,
Northeastern University
(Boston, Massachusetts)



- 10 anos de Polaroid – projetou câmeras, mecanismos relacionados e máquinas automatizadas de alta velocidade
- 3 anos Jet Spray – equipamentos manipulação de alimentos e produtos
- 5 anos – ajudou a desenvolver coração artificial e dispositivos para circulação assistida.

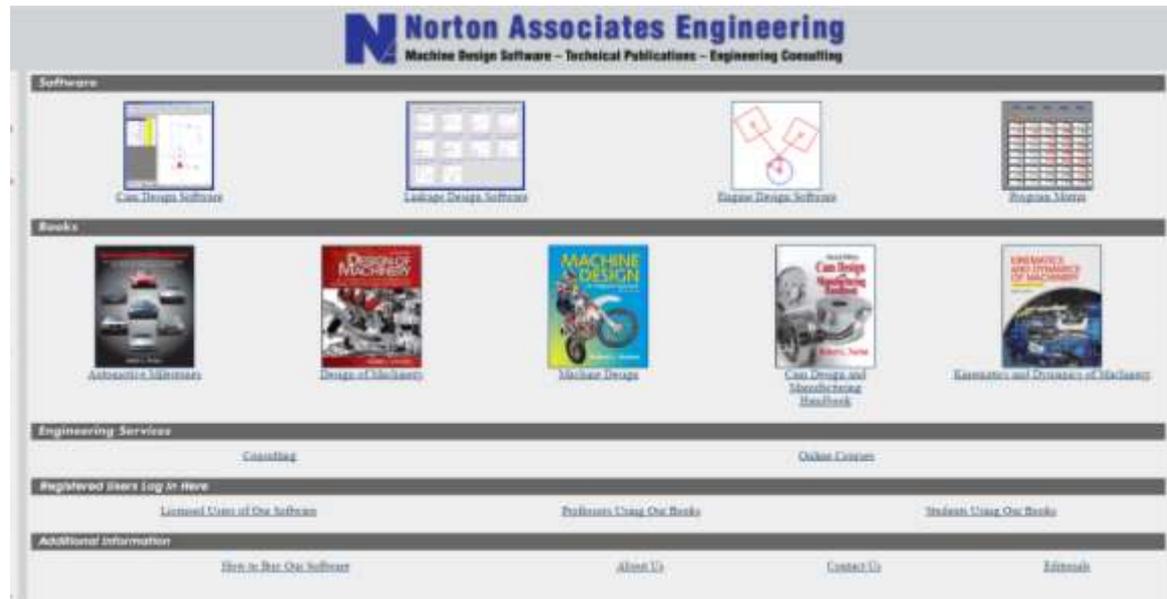


<http://www.designofmachinery.com/>

Bibliografia

Programas para Projeto e Análise de Mecanismos e Máquinas.

- Slider
- Fourbar
- Fivebar
- Sixbar
- Dynacam
- Engine
- Matrix



**DESAFIO!!!! - Baixar programas e utilizar no Projeto da Disciplina.
Se associar como estudante - Norton Association Engineering (NAE)**



<http://www.designofmachinery.com/>

DESAFIO!

MECANISMOS

Bibliografia

BÁSICA

HIBBELER, R. C. **Dinâmica:** mecânica para engenharia. São Paulo: Pearson, 2011.

* NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos.** Porto Alegre: McGraw-Hill, 2010

* SHIGLEY, Joseph E.. **Cinemática dos mecanismos.** São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 1970.
396 p

COMPLEMENTAR

DOUGHTY, S. **Mechanics of machines,** New York: Wiley International, 1988.

UICKER Jr., John J.; Pennorck, Gordon R.; Shigley, J.E. **Theory of Machines and Mechanisms.** 4. ed. 2011.

JUVINALL,R.C.; MARSHEK, K.M. **Fundamentals of machine component design.** 2 ed. New York: John Wiley, 1991.

NORTON, Robert L. **Machine design:** an integrated approach. Boston: Prentice Hall, 2011.

SHAMES, Irving H.; FARIA, Marco Tulio Correa de (trad.). **Dinâmica:** mecânica para engenharia. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

Conteúdo

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Fundamentos da Cinemática

Grau de Liberdade

Tipos de Movimento

Pares Cinemáticos

Representações Esquemáticas

Determinando os Graus de Liberdade ou Mobilidade

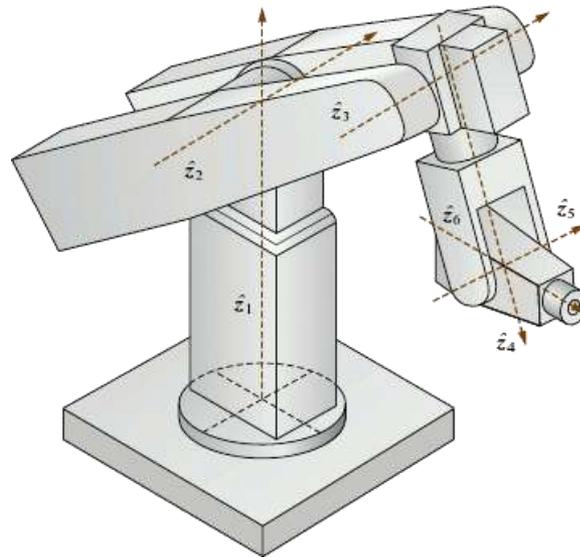
Mecanismos e Estruturas

Cadeias Cinemáticas

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Porque estudar mecanismos?

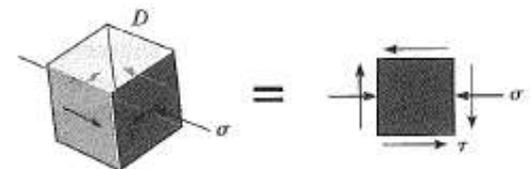
Um **dos primeiros passos** para resolver qualquer problema de **projeto de máquinas** é definir a **configuração cinemática necessária** para fornecer os **movimentos desejados**.



Movimentos desejados de um braço robótico.

Em geral, a análise de **forças** e **tensões** **não pode ser feita** até que questões sobre **cinemática sejam solucionadas**.

Estado de Tensões



Introdução a Cinemática de Mecanismos

Porque estudar mecanismos?

Qualquer *máquina* ou *aparelho* que se *mova* contém **um** ou **mais elementos cinemáticos** como conexões, cames, engrenagens, correias ou correntes.



Junta Esférica



Virabrequim/Came



Engrenagens



Transmissão por correia (industrial)



Transmissão por corrente (moto)



Transmissão por corrente (máquina industrial)

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Bicicleta:



Sistema cinemático que contém **uma transmissão por corrente** que fornece **multiplicação de torque** e **sistemas simples de freio a cabo**.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

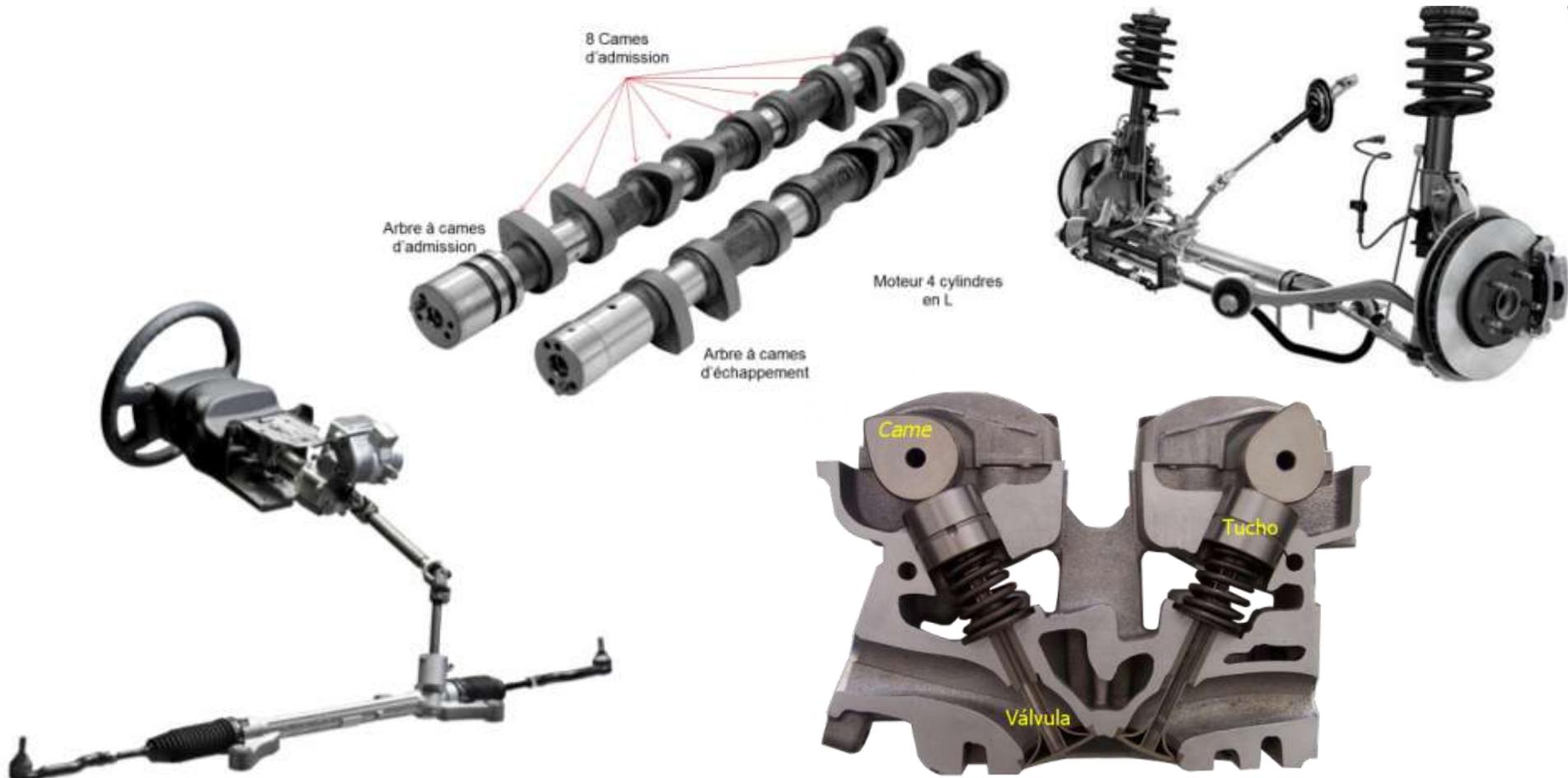
Um *automóvel* apresenta muito mais exemplos de dispositivos cinemáticos.



Quais ?

Introdução a Cinemática de Mecanismos

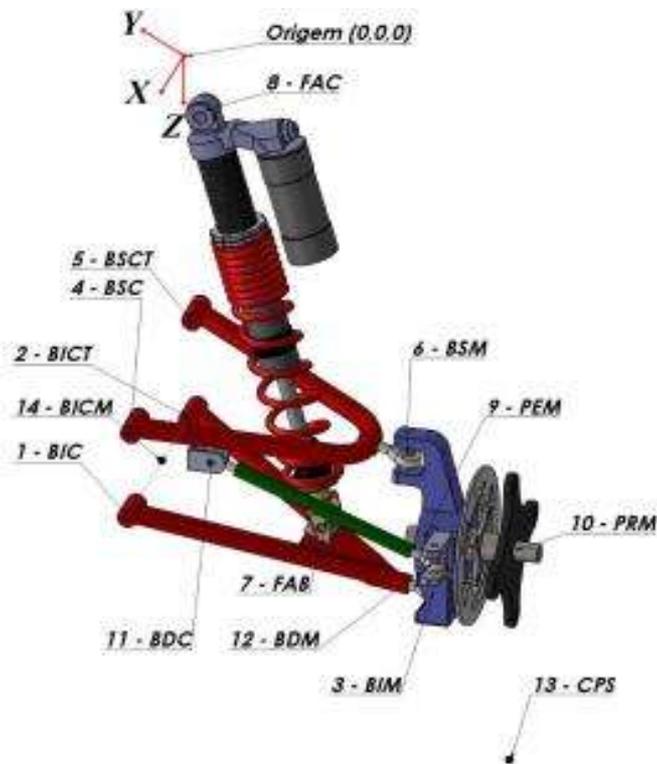
Os sistemas de *direção*, *suspensão* e *motor* a pistão contêm *conexões*.



As *válvulas* do motor são abertas por sistemas de *comes*.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Mecanismo espacial de suspensão:



Norton, pág. 27.

Suspensão Dianteira e Traseira



Traseira

- Eixo rígido

Dianteira

- Duplo triângulo assimétrico ("Duplo A")



Benchmarking (BAJA – Univille)

Introdução a Cinemática de Mecanismos

A *transmissão* possui um grande número de *engrenagens*.



Até mesmo os *limpadores de parabrisa* são movidos por *mecanismos de barras*.
(motores de limpadores de parabrisa no prédio 17 – Prof. Carlos Langemann)

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Equipamentos de construção como tratores, guindastes e retroescavadeiras usam ***extensivamente mecanismos em seu projeto.***



A figura acima mostra uma retroescavadeira, que é um **mecanismo de barras** movido por um ***cilindro hidráulico.***

Introdução a Cinemática de Mecanismos



Uma outra aplicação que faz o uso de *mecanismos de barras* são os *equipamentos de exercício físico*.



Introdução a Cinemática de Mecanismos

Os exemplos anteriormente citados são todos *bens de consumo*.



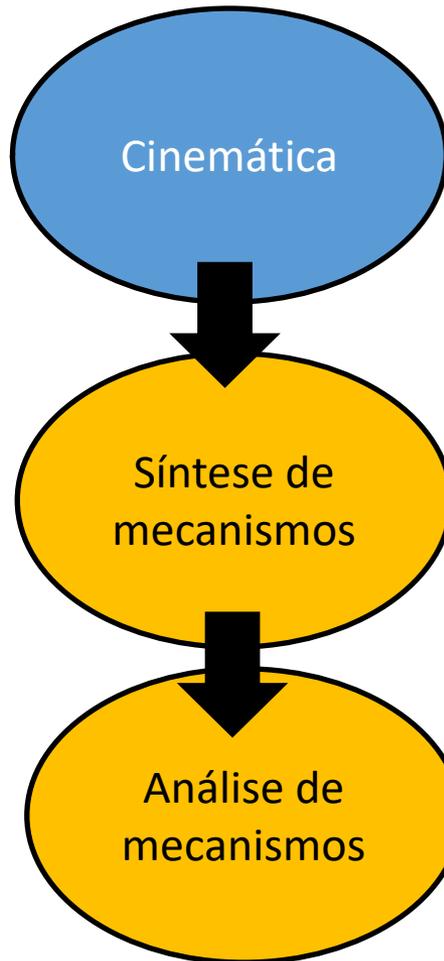
Outros exemplos de dispositivos cinemáticos podem ser encontrados em **fábricas – máquinas** usadas para fabricar muitos **produtos** que nós utilizamos.



Braços Giratórios – Elementos cinemáticos - Mecanismos de barras

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Norton, Capítulo 1



Norton, Capítulo 2



Não podemos analisar algo não construído.



Executar movimentos desejados e tarefas

Determinar o comportamento Dinâmico de corpos rígidos

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Norton, Capítulo 1

Projeto de Máquinas



Introdução a Cinemática de Mecanismos

Norton, Capítulo 1

Projeto de Máquinas



MV Augusta F3, 800 cc.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Objetivo:

Norton, Capítulo 1

Desenvolver a
Capacidade de Projetar
Soluções para **problemas**
de **Engenharia**.

1. Projeto, Invenção, Criatividade
2. Identificação da necessidade
3. Pesquisa preliminar (benchmarking)
4. Estabelecimento do objetivo
5. Especificações de desempenho
6. Idealização e Invenção
7. Análise
8. Seleção
9. Projeto detalhado
10. Prototipagem e Teste
11. Produção

Leitura recomendada (8 págs.)
A **Metodologia** de um
Projeto (Cap. 1.5 - Norton)

Introdução a Cinemática de Mecanismos

1) Ciência da Mecânica:

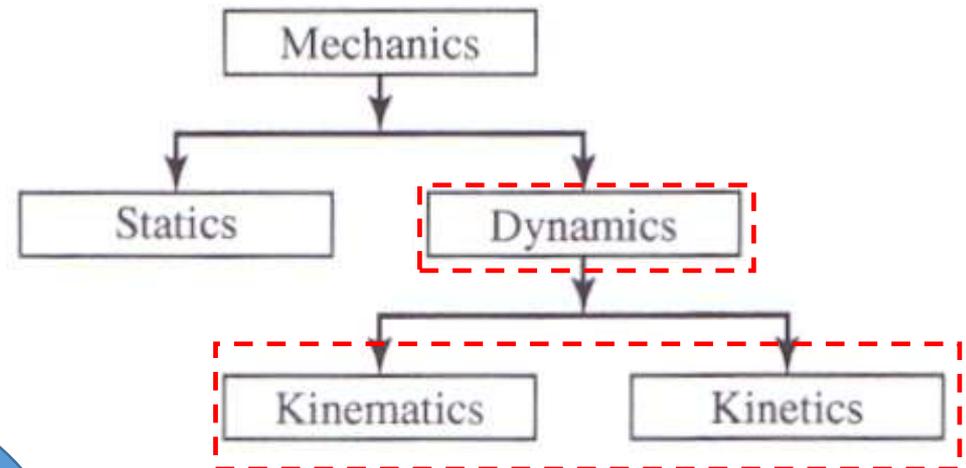
“A **mecânica** é o ramo da **análise científica** que se ocupa dos **movimentos**, do **tempo** e das **forças**, e se divide em duas partes, **estática** e **dinâmica**”.

Estática

Trata da análise de sistemas estacionários (aqueles que o **tempo não é um fator determinante**)

Dinâmica

Refere-se aos sistemas que **mudam com o tempo**.



Fonte: Shigley e Uicker, Jr., 2001

Introdução a Cinemática de Mecanismos

2) Cinemática e dinâmica de máquinas são **conceitos fundamentais** para o estudo de um assunto mais amplo: **projeto de máquinas**.

3) Cinemática e dinâmica (Definições):

- **Cinemática: Estudo do movimento**, desconsiderando as forças que o causaram. São estudados, por exemplo, a posição, geometria, deslocamento, rotação, velocidade e aceleração.
- **Cinética: Estudo das forças** de sistemas em movimento.

Obs:

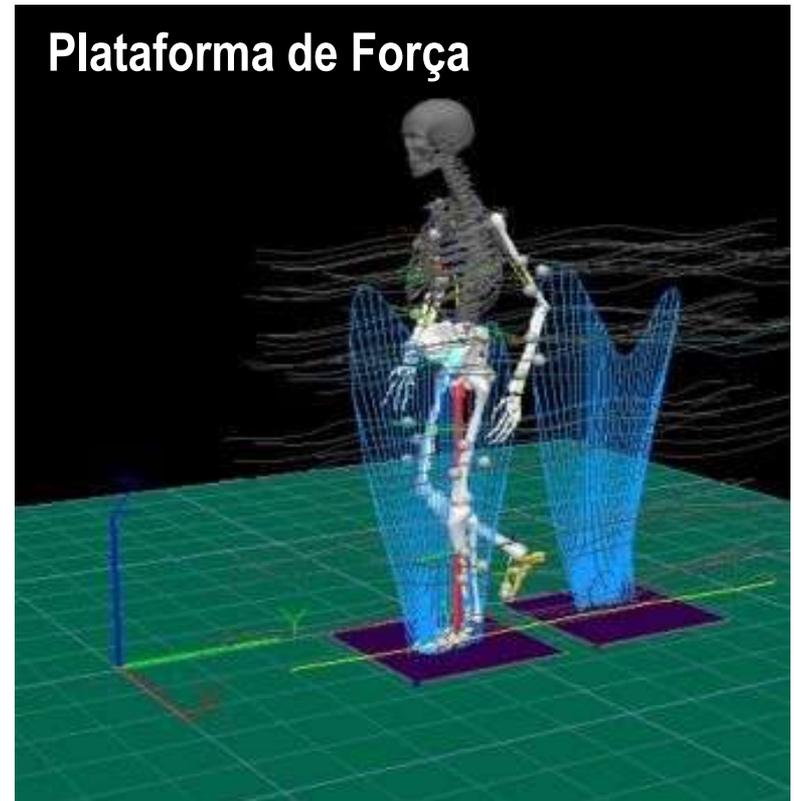
- 1) Estes conceitos **não são fisicamente separáveis**;
- 2) **Não é possível modelar sistemas mecânicos** em movimento sem levar **os dois tópicos** em **consideração**

Introdução a Cinemática de Mecanismos

*Biomecânica



Estudo do movimento - **Cinemática**



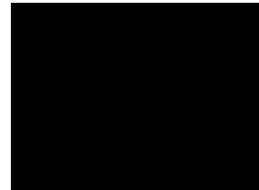
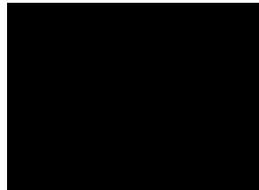
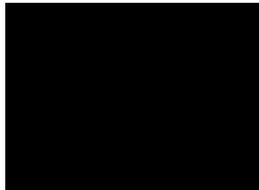
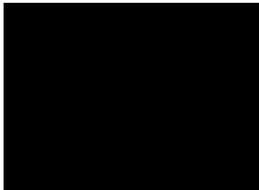
Estudo das Forças de sistemas em movimento - **Cinética**

Retro

Mec. Barras

Obturador

Transmissão

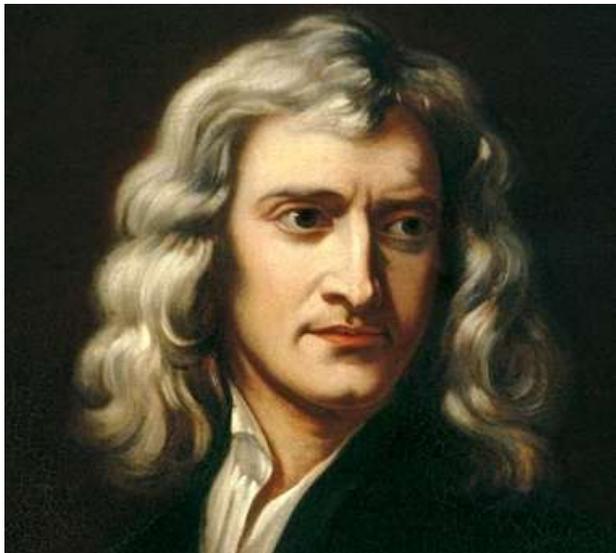


Introdução a Cinemática de Mecanismos

Segue a 2º Lei de Newton, $F = m \cdot a$

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

- Conhecida a **aceleração (a)** para que possa calcular as **forças dinâmicas (F)** em função da movimentação de um sistema de **massa (m)**.
- Também há muitas situações nas quais as **forças aplicadas são conhecidas** e deseja-se saber a **aceleração do sistema**.



Isaac Newton, 1643 –
1727, Reino Unido



Samsung, Gear Fit,
2014.

Acelerômetro



Introdução a Cinemática de Mecanismos

Um dos objetivos principais da cinemática é:

Criar /Projetar movimentos desejados de elementos mecânicos e então **calcular** as **posições, velocidades e acelerações** que esses **movimentos** irão gerar nos respectivos **componentes**.

Criar movimentos desejados
Calcular Posições, Vel, Acelerações nos componentes

Para muitos **sistemas mecânicos**, como a **massa não se altera com o tempo**, podemos definir tanto **aceleração** como a **força** em **função do tempo**

Massa = cte
 $F = f(t)$
 $a = f(t)$

As **tensões**, serão definidas em função das **forças inerciais** (ma) e **forças externas aplicadas**.

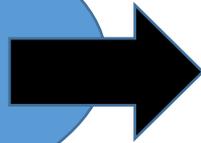
Tensões = Forças Inerciais + Forças Externas

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Uma vez que o **projeto de engenharia** deve propor sistemas que **não falhem** durante o tempo estimado de vida, o **objetivo é manter esforços dentro de limites** aceitáveis para os **materiais escolhidos** e para as **condições climáticas** às quais o sistema estará exposto.

Sistemas que não falhem
Manter os esforços dentro de limites aceitáveis para os materiais escolhidos.

Isso requer que todas as **forças do sistema** sejam **definidas e mantidas dentro do limite escolhido**.



Em equipamentos que possuem movimento **normalmente as forças de maior módulo** encontradas são aquelas relacionadas à **dinâmica da própria máquina**.

- Essas **forças** geradas pelo movimento são **proporcionais a aceleração**, o que nos leva a **cinemática**, a **base fundamental** de um **projeto mecânico**.
- Um **projeto** que tiver **definições e estudos cinemáticos pobres** e mal feitos poderá se mostrar **problemático** e apresentar **desempenho inadequado**.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

4) Mecanismos (Definições):

Norton, 2010

- Não há uma divisão correta do que é um *mecanismo* e do que é uma *máquina*.
- São diferenciados em grau, e não em tipo.
- Se as **forças** ou o **nível de energia** do aparelho são **significativos**, ele é considerado uma **máquina**; se **não**, ele é considerado um **mecanismo**.



Um Mecanismo

Fonte: Norton, 2010



Uma Máquina

Fonte: Norton, 2010

Introdução a Cinemática de Mecanismos

- Um *mecanismo* é um dispositivo que *transforma um movimento qualquer* em um *padrão desejado* e geralmente desenvolve *forças de baixa intensidade* e transmite *pouca potência*. Fonte: Norton, 2010

- “Um meio de transmitir, controlar ou limitar um movimento relativo”

Fonte: Hunt, 1978. Kinematic Geometry of Mechanisms, Oxford University

- “Um *máquina*, em geral, contém mecanismos que são projetados para fornecer *forças significativas e transmitir potências significativas*.”

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Uma cadeia cinemática é definida como:

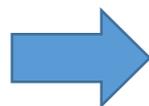
Um conjunto de elos e juntas interconectadas de uma maneira que possibilita um movimento de saída controlado a um movimento de entrada fornecido.

Uma mecanismo é definida como:

Uma cadeia cinemática em que pelo menos uma ligação foi “aterrada”, ou presa, à estrutura de referência (que pode estar em movimento).

Uma máquina é definida como:

Uma combinação de corpos resistentes organizados para compelir as forças mecânicas da natureza a fim de realiza trabalho acompanhado por movimentos determinados.



Referenciar material Prof. Crespo (slides finais)

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Exemplos de mecanismos:

Fonte: Norton, 2010



Apontador
de lápis



Obturador



Relógio Analógico



Guarda-chuva



Cadeira Dobrável



Suporte de
lâmpada
ajustável

Black

White

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Fonte: Norton, 2010

Algumas *máquinas* que possuem *movimento similar* aos *mecanismos citados*:



Liquidificador



Porta do cofre de um banco



Câmbio de automóvel



Trator



Robô, 15 anos



Brinquedo de Parque de diversões

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Introdução a Cinemática de Mecanismos

Este é o **Motobot**, o robô motoqueiro da Yamaha.

aplicar os recursos desenvolvidos para o Motobot em projetos de veículos autônomos



[câmera](#) instalada na cabeça

“Estamos vendo robôs bastante impressionantes sendo projetados, como aqueles que são [inspirados em animais](#). Eu só não esperava que alguém fosse criar um [robô](#) capaz de pilotar motos. Não é que a Yamaha está trabalhando em projeto para esse fim? A invenção foi apresentada recentemente no salão do automóvel de Tóquio, 2015.”

“O Motobot está sendo criado, fundamentalmente, para abrir portas para novas tecnologias”.

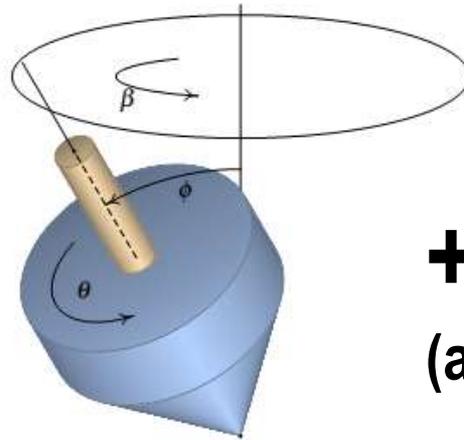
Robô para pilotar diversidade de veículos
Não é totalmente autônomo
Ainda, não tem equilíbrio.
Protótipo atual dá um show de pilotagem, o robô é capaz de frear, trocar de marcha, acelerar, enfim, executar tudo o que é necessário para a condução da moto.



Fundamentos da Cinemática

Movimento em Mecanismos

Um **corpo rígido livre** para se mover dentro de uma estrutura de referência terá, em geral, **movimento complexo**, que é uma **combinação simultânea** de **rotação** e **translação**.



+ **Translação**
(andando sobre a mesa)

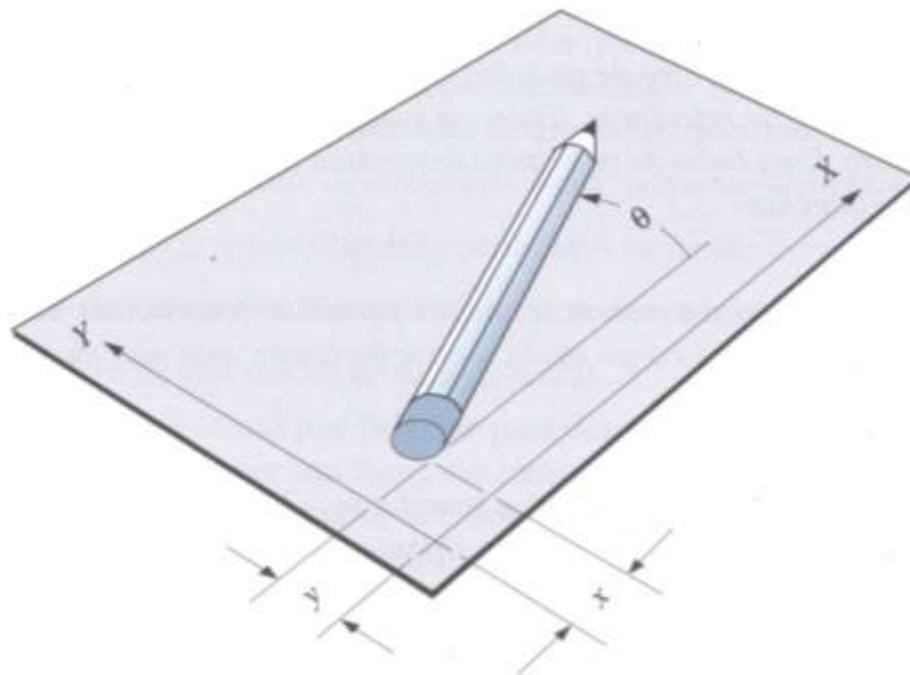
Em **espaços tridimensionais (3D)** pode haver **rotação em qualquer eixo** e também **translação simultânea**, que pode ser dividida em componentes ao longo de **dois eixos no plano**.

Fundamentos da Cinemática

Para *simplificar*, vamos limitar essa discussão ao caso de *sistema cinemático plano (2D)*.

Movimentos no plano:

- Rotação pura
- Translação pura
- Movimento complexo



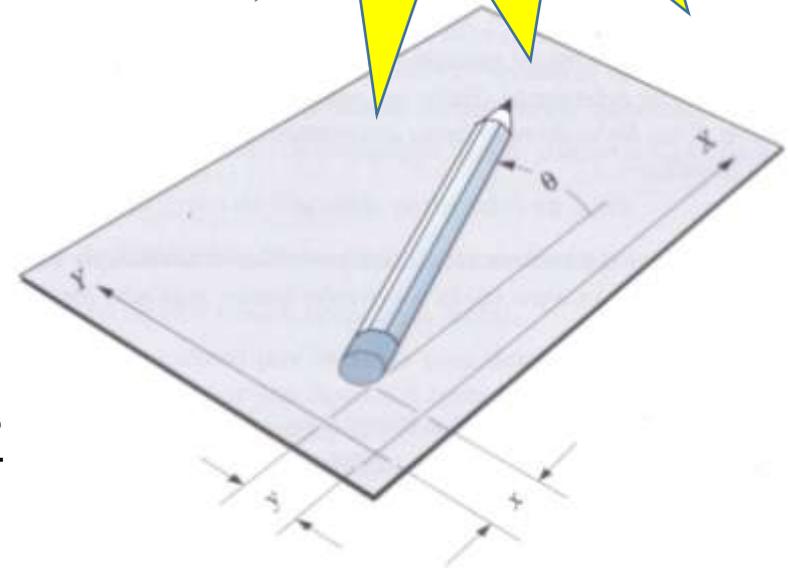
Fundamentos da Cinemática

**Pegue
um lápis**

1) Graus de Liberdade (GDL) ou mobilidade

Exemplo:

Pegue um lápis e deixe-o deitado sobre uma folha de papel plana com um sistema de coordenadas x e y .



Pergunta: Quantos GDL para definir a posição?

- Neste caso, três parâmetros (GDL) são necessários para definir completamente a posição do lápis na folha:
 - Duas coordenadas lineares (x, y) para definir a posição em qualquer ponto do lápis.
 - Uma coordenada angular (θ) para definir o ângulo do lápis em relação aos eixos.

Fundamentos da Cinemática

1) Graus de Liberdade (GDL) ou mobilidade

Exemplo:

Então,

Agora segure o lápis acima de sua mesa e mova-o sobre ela.



Pergunta: Quantos GDL teria o Lápis no espaço tridimensional?

Fundamentos da Cinemática

1) Elos, Juntas ou Articulações e Cadeias Cinemáticas

- Definição - Projeto de Mecanismos – Mecanismos são blocos básicos de todo o mecanismo.
- As formas mais comuns de mecanismos (comes, engrenagens, correias, elos) são variações comuns de mecanismos.
- Mecanismos são feitos de **elos** e **juntas**.
- Um **Elo** é um **corpo rígido** que possui ao menos **dois nós** que são pontos para se anexar aos outros elos.

- Elo binário – possui dois nós
- Elo terciário – possui três nós
- Elo quaternário – possui quatro nós

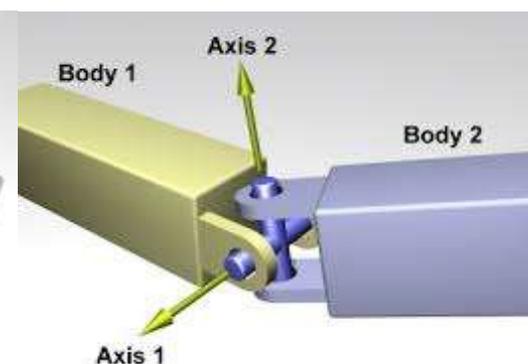
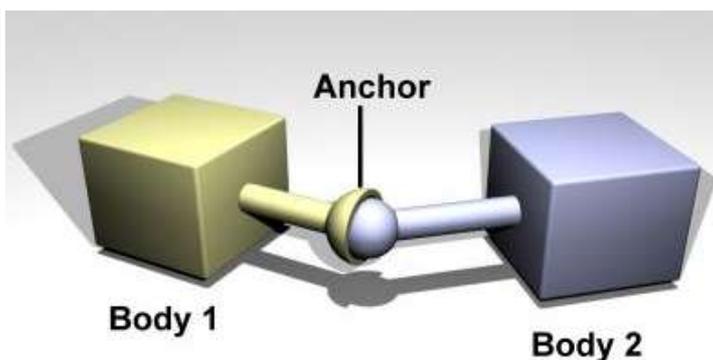
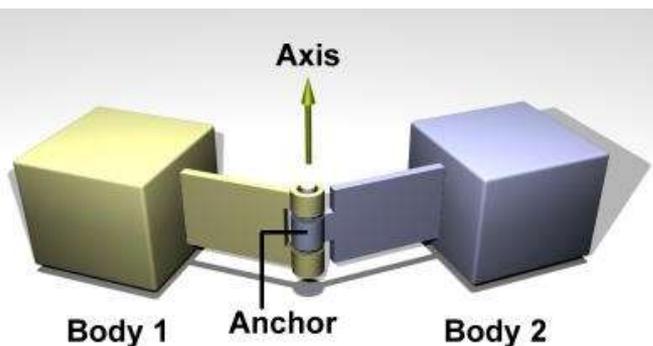


- Trata-se meio físico, capaz de **transmitir força ou movimento**. (óleo, ar, água, **manivela, biela, correia, correntes, engrenagens**).

Fundamentos da Cinemática

Juntas (Par Cinemático)

É uma **conexão** entre dois ou mais elos (em seus nós) que permite o **mesmo movimento**, ou movimento potencial, entre dois **elos conectados**;



Ou,

É a **conexão** que **une** e **permite movimento relativo** entre dois elementos de uma **cadeia cinemática ou mecanismo**.

Fundamentos da Cinemática

Juntas (Par Cinemático)

As juntas podem ser *classificadas* de diferentes maneiras:

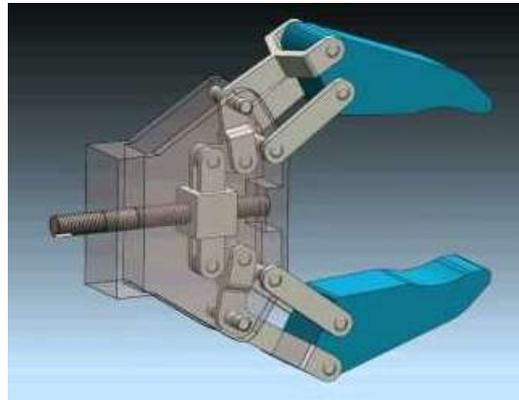
- 1) Pelo **tipo de contato entre os elementos**, linha, ponto ou superfície;
- 2) Pelo **número de graus de liberdade** permitidos na **junta**;
- 3) Pelo tipo de **fechamento físico da junta**: tanto força como forma fechada;
- 4) Pelo **número de elos unidos** (ordem da junta);

Fundamentos da Cinemática

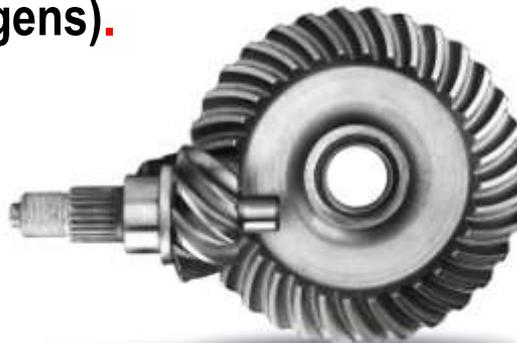
Juntas (Par Cinemático)

As juntas entre suas diversas aplicações, podem ser descritas como:

- **Par Inferior:** tratam-se de juntas com **superfície de contato**, como, por exemplo, um pino envolvido por um furo.



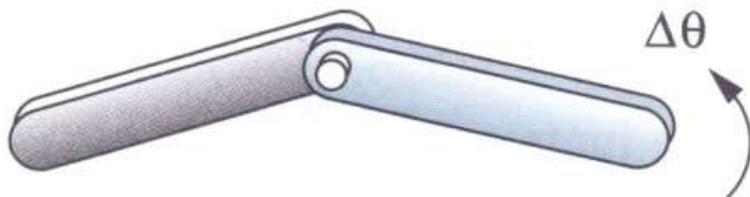
- **Par Superior:** tratam-se de juntas com **ponto ou linha de contato entre dois elementos** (comes, engrenagens).



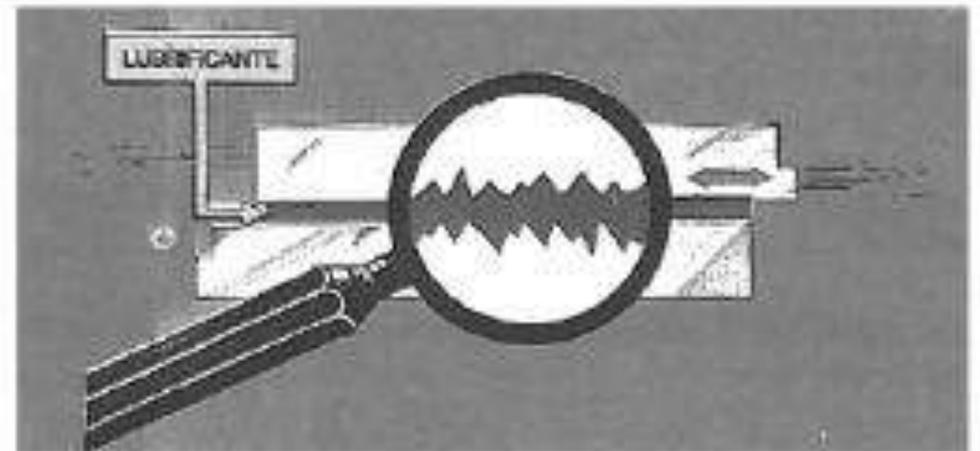
Fundamentos da Cinemática

Juntas (Par Cinemático)

- Entretanto, se existir qualquer contato na **junta pinada**, na verdade se **transforma em contato de linha** pq o pino encontra somente em um “lado” do furo.
- Da mesma maneira em nível **macroscópico**, um bloco deslizando em uma superfície plana, de fato, tem **contato somente em pontos discretos**, que são o topo da **aspereza da superfície**.



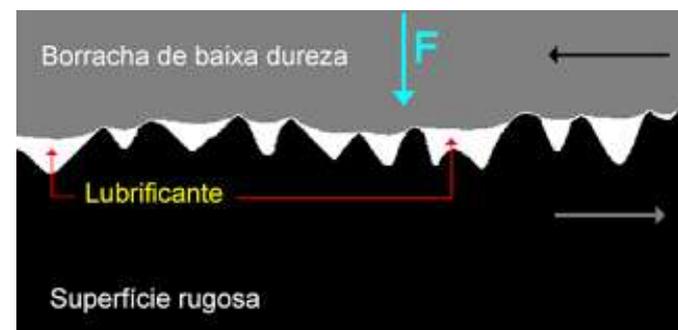
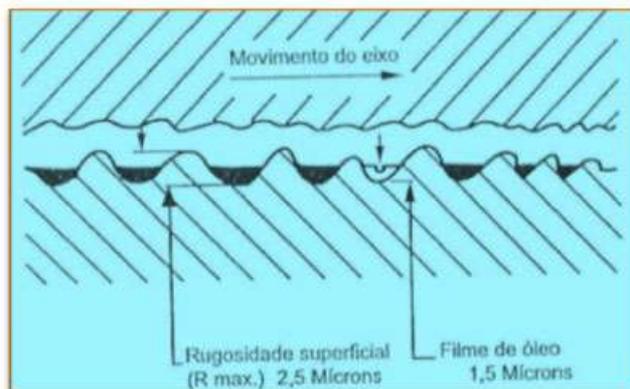
Junta de rotação (forma)



Fundamentos da Cinemática

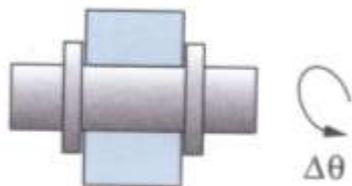
Juntas (Par Cinemático):

- O **lubrificante** é expulso mais facilmente do **par superior**.
- Como resultado, a **junta pinada** é **preferida** para **pouca solicitação** e **vida longa**, até mesmo sobre seu primo par inferior, a junta deslizante ou prismática.
- A **principal vantagem prática** de **pares inferiores** sobre os superiores **é a melhor habilidade de reter lubrificante** entre as superfícies envolvidas.

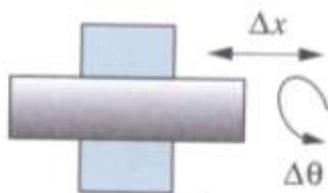


Fundamentos da Cinemática

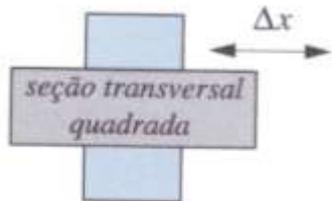
Uma maneira útil de **classificar** as juntas é pelo número de **GDL** que elas permitem entre os dois elementos unidos.



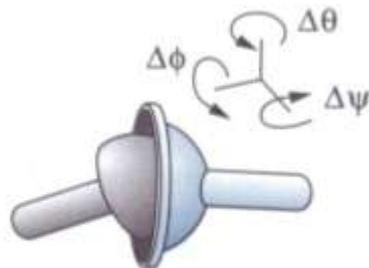
Junta de revolução (R) – 1 GDL



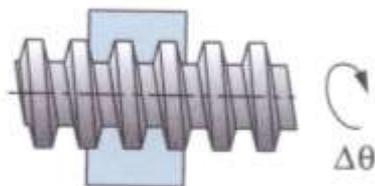
Junta cilíndrica (C) – 2 GDL



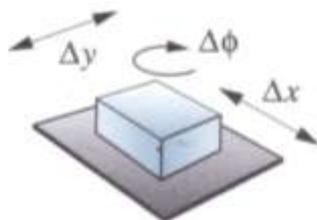
Junta prismática (P) – 1 GDL



Junta esférica (S) – 3 GDL



Junta helicoidal (H) – 1 GDL



Junta plana (F) – 3 GDL

Seis pares inferiores

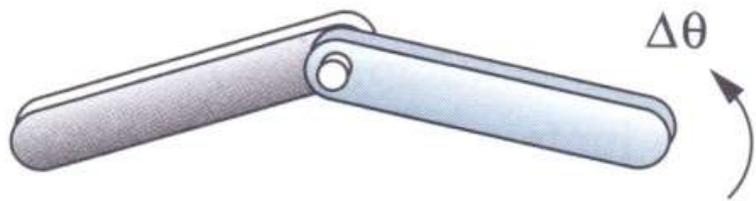
TABELA 2-1
Os seis pares inferiores

Nome (símbolo)	GDL	Conteúdo
Revolução (R)	1	R
Prismático (P)	1	P
Helicoidal (H)	1	RP
Cilíndrico (C)	2	RP
Esférico (S)	3	RRR
Plano (F)	3	RPP

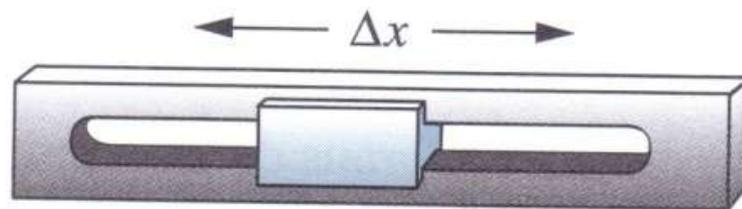
Fundamentos da Cinemática

Junta com 1 GDL:

- Denominadas **Junta pinada (R)** girando (revolução) e **Junta deslizante (P)** transladando (prismático)
- Também chamadas de **Juntas completas** (GDL = 1) e são pares inferiores.



Junta de rotação (forma)

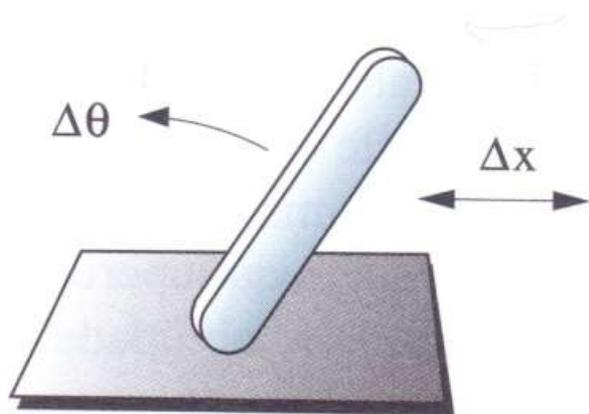


Junta de translação (forma)

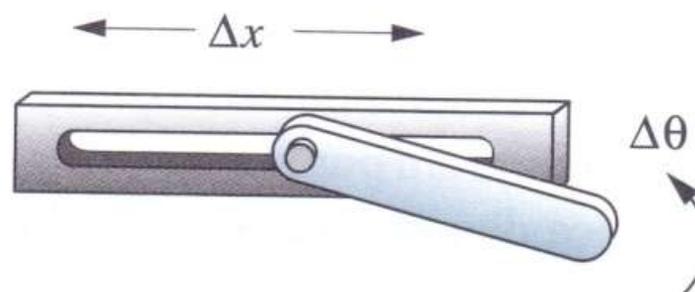
(b) Juntas completas - 1 GDL (pares inferiores)

Fundamentos da Cinemática

- Junta com **2 GDL** (*pares superiores*), que permitem simultaneamente dois movimentos relativos independentes, isto é, **translação** e **rotação** entre elos ligados.
- Paradoxalmente são chamadas de **meia-junta** (*entra no cálculo GDL*).
- Também é chamada de cilíndrica, pois permite rolar e deslizar.



Elo contra o plano (força)

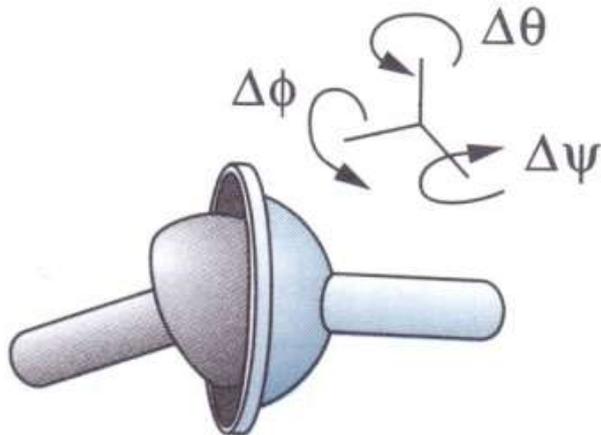


Pino em uma ranhura (forma)

(c) União de rotação e deslizamento (meia junta ou RP) – 2 GDL (pares superiores)

Fundamentos da Cinemática

- Uma **junta esférica** é um exemplo de junta com **3 GDL**, que permite **três movimentos angulares** independentes entre os dois elos unidos.
- Esta junta do tipo **joystick** é tipicamente usada em um mecanismo **3D**.
- Exemplo, sistema de **suspensão automotivo**.

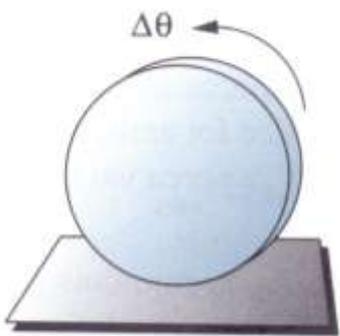


Junta esférica (S) – 3 GDL



Fundamentos da Cinemática

- Junta de **rolamento puro** tem somente liberdade de **rotação ($\Delta\theta$)**
Ex.: **Pneu** do carro rolando sobre a estrada.
- Não há deslizamento nessa junta a menos, é claro, que você se encontre em uma **estrada congelada** ou que **você acelere demais em uma curva**.
- Se você **travar os freios no gelo**, essa junta se torna **puramente deslizante**, como o bloco (fig. 9.2b)



Pode rolar, deslizar, ou rolar e deslizar, dependendo da fricção

Referência GDL abstração

- A **fricção** determina o **GDL** nesse tipo de junta. Ela pode ser **rolamento puro**, **deslizamento puro** ou **rotação e deslizamento**.

Fundamentos da Cinemática

3) Deslocamentos

- O deslocamento representa a **mudança de posição**, independentemente do caminho percorrido.
- **Distinguem-se deslocamentos lineares e angulares**; este último como mudança angular na posição de uma linha.

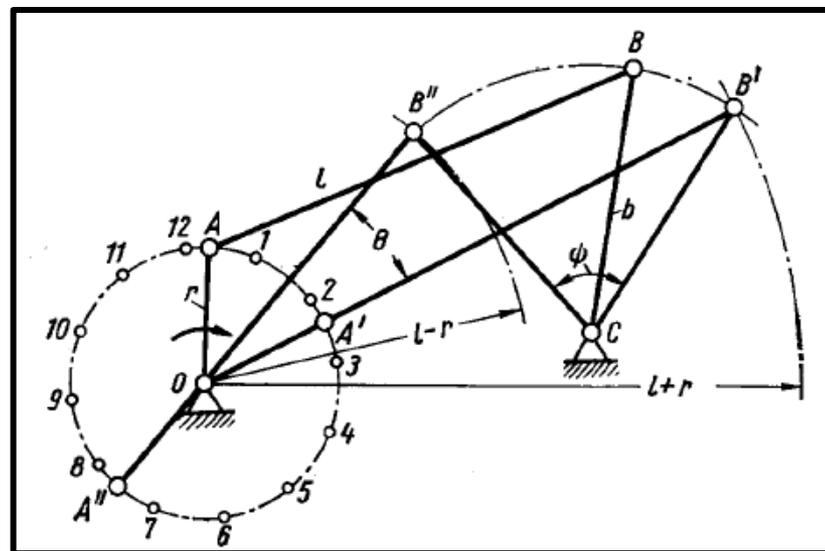
Fundamentos da Cinemática

4) Ciclo, Período e Fase do Movimento

Quando as **diversas partes** de um **mecanismo partem de uma posição inicial**, descrevem um **movimento intermediário**, **retornando** então à **posição inicial** para então, reiniciar a mesma transformação cinemática.

então,

o mecanismo terá completado um **ciclo** durante um tempo denominado **período**, após adquirir várias posições instantâneas relativas chamadas **fases**.



Introdução a Cinemática de Mecanismos

5) Síntese Cinemática e Análise Cinemática

A teoria dos mecanismos, que consiste na ciência que estuda a estrutura, a cinemática e a dinâmica dos mecanismos, pode ser dividida em:

- **Síntese Cinemática:** baseia-se em **projetar um mecanismo para uma determinada finalidade**, de forma que, previamente, são **conhecidas algumas condições de seu movimento**.

portanto,

o objetivo consiste na determinação das principais dimensões de um mecanismo.

- **Análise Cinemática:** **dado um determinado mecanismo** e, considerando-se suas propriedades geométricas, **são determinados** os valores das **posições, velocidade e acelerações** de suas peças ou **pontos de interesse**.

os quais,

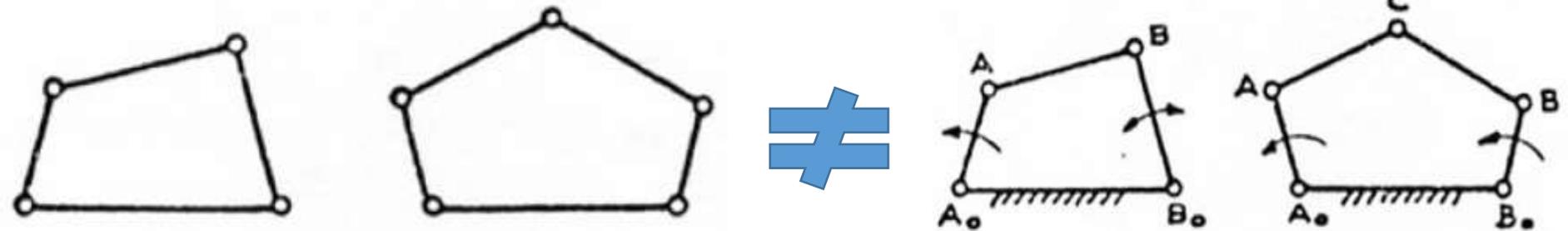
são convenientemente escolhidos sobre as peças que compõe tal mecanismo.

Fundamentos da Cinemática

Cadeia Cinemática e Mecanismo

Cadeia Cinemática: Consiste em um **conjunto de elos e juntas** interconectadas de uma maneira que possibilite um **movimento de saída controlado** em resposta a um **movimento de entrada fornecido**.

Mecanismo: Quando fixamos um dos elementos de **uma cadeia cinemática** para formar uma base, esta transforma-se em **mecanismo**.



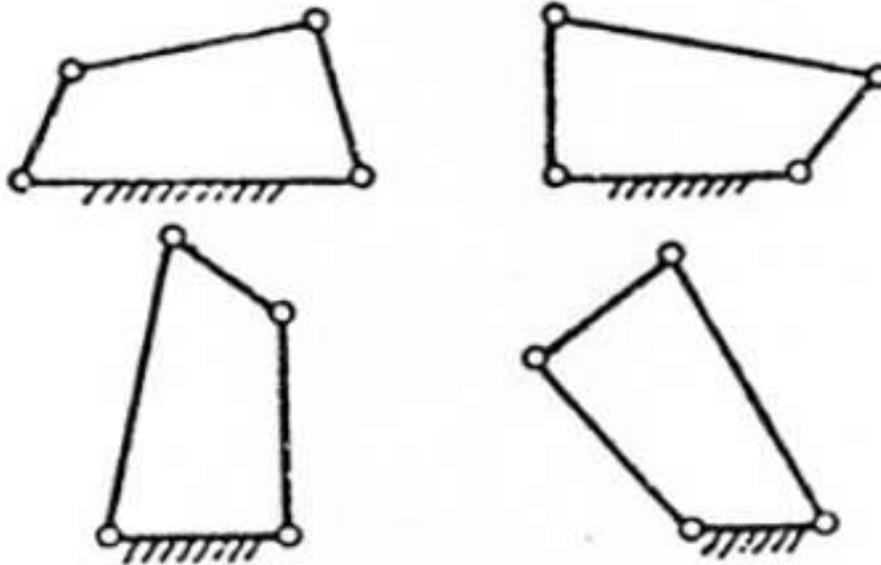
Cadeia Cinemática

Mecanismo

Fundamentos da Cinemática

Inversão Cinemática (IC)

- Mudando-se a base de um mecanismo, pode-se criar **outros mecanismos** com **diferentes características de transmissão**, **sem alterar os movimentos relativos entre os elementos**.



IC: mecanismos de 04 barras

Fundamentos da Cinemática

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

- É uma **linguagem gráfica**, utilizada para representar esquematicamente os mecanismos.
- A **linguagem** deve **fornecer todas** as **informações** sobre o mesmo, para permitir uma **análise da estrutura** e/ou **síntese e análise cinemática**.

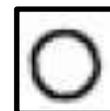
1) Ponto de um elemento (A,B,C, ..., 23 , 34, ...Q₂, ...).



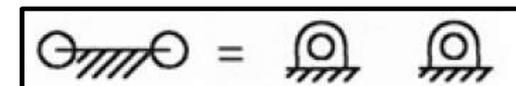
2) Par rotativo fixo (Q₂ ,Q₄ , ...Q_n , 12 , 14 , ...).



3) Par rotativo móvel (A,B,C, ..., 23 , 34,.....).



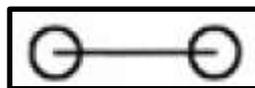
4) Elemento rígido fixo com 2 pares rotativos fixos (base).



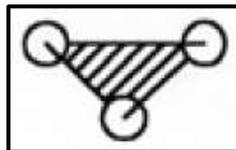
Fundamentos da Cinemática

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

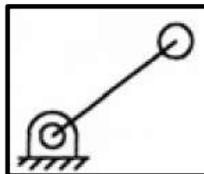
5) Elemento rígido móvel com 2 pares rotativos móveis (biela) (acoplador).



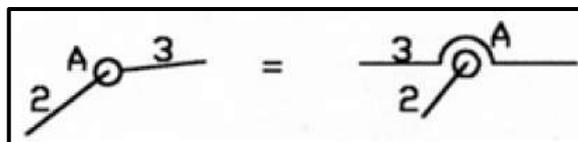
6) Elemento rígido móvel com 3 ou mais pares rotativos móveis (biela) (acoplador).



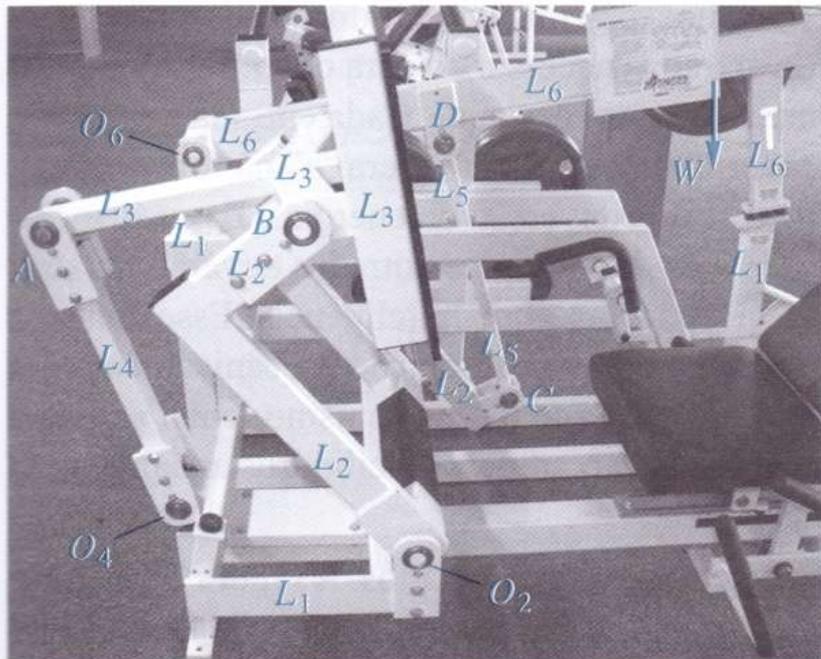
7) Elemento rígido móvel com 1 par rotativo fixo e 1 par rotativo móvel (manivela).



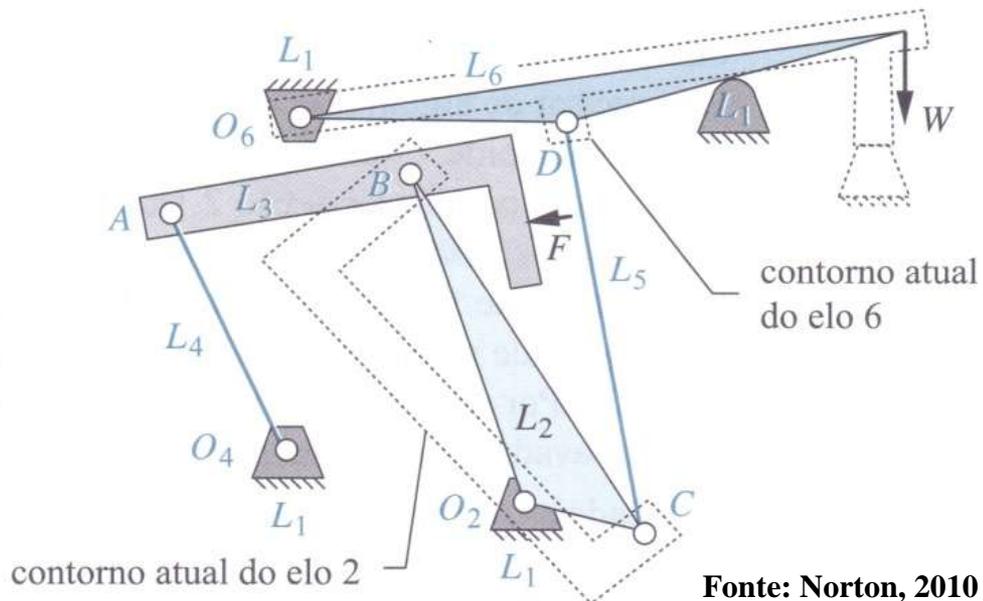
8) Dois elementos conectados por um par rotativo móvel.



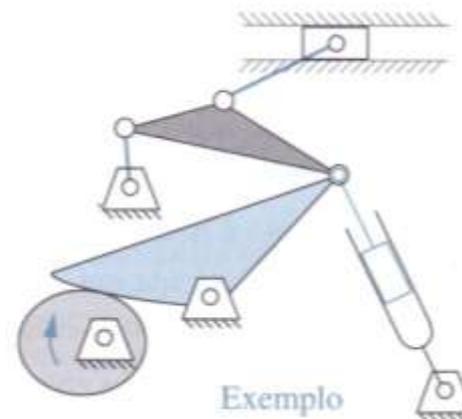
Fundamentos da Cinemática



Um mecanismo e seu diagrama esquemático:



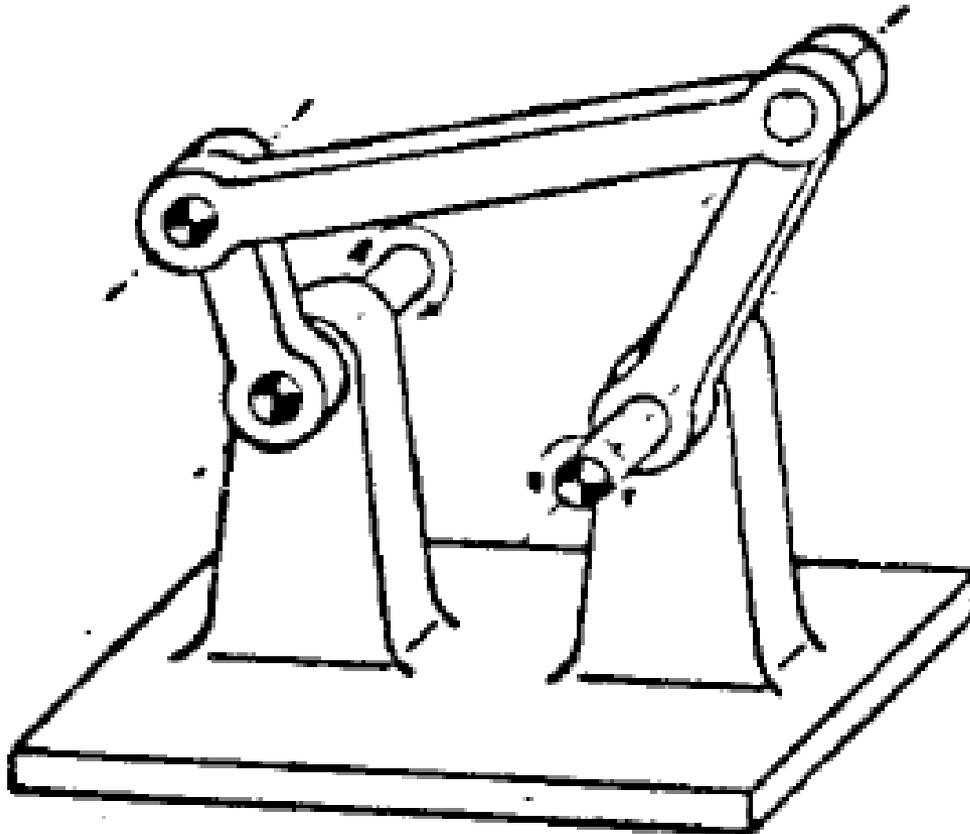
Fonte: Norton, 2010



Fundamentos da Cinemática

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

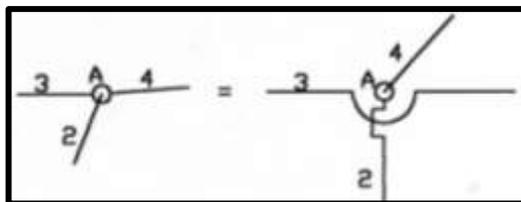
Exercício: Represente esquematicamente o seguinte mecanismo:



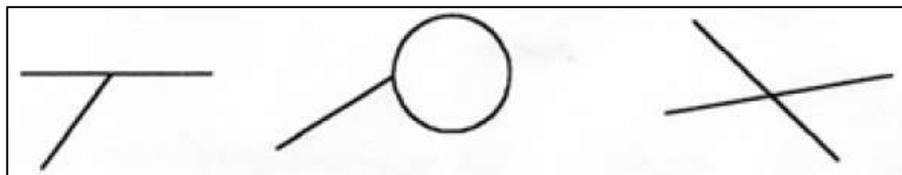
Fundamentos da Cinemática

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

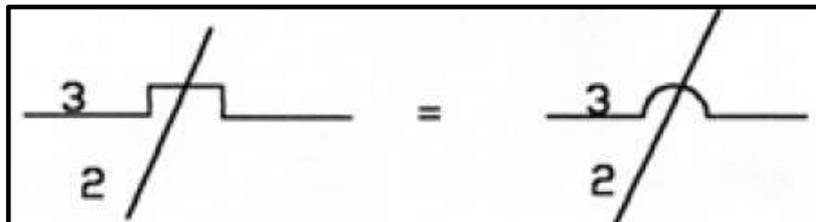
9) Três elementos conectados por um par rotativo móvel.



10) Elemento único (fixação rígida entre elementos – Ex: solda).



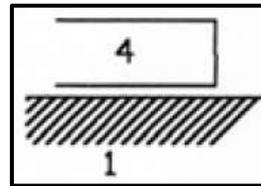
11) Dois elementos coplanares não conectados.



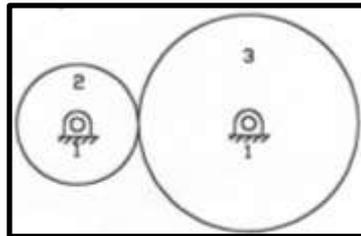
Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

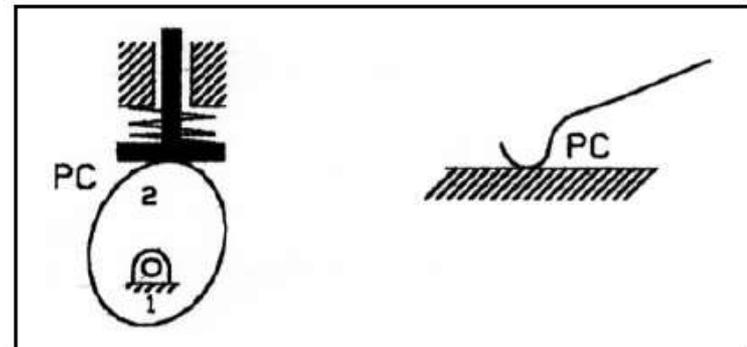
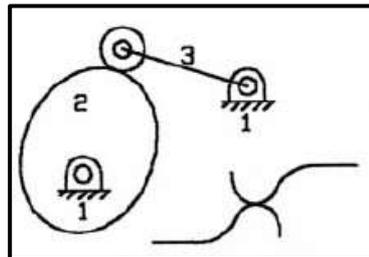
12) Par deslizante (pistão / cilindro).



13) Par de engrenagens



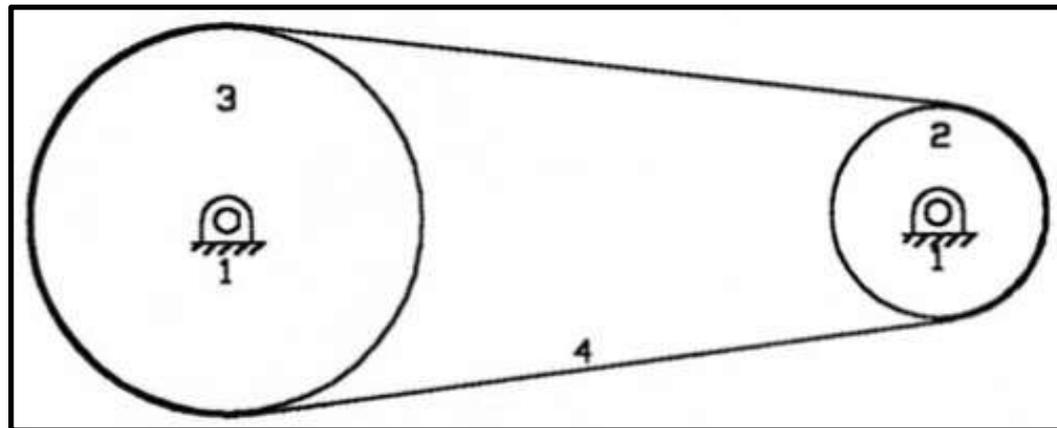
14) Par de came (came e seguidor)



Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

15) Par de elemento flexível com polia ou roda dentada (correia, corrente, etc.)



Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)

Verifica uma estrutura, cadeia cinemática ou mecanismo, quanto a **possibilidade e/ou tipo de movimento**.

CRITÉRIO DE GRUEBLER (Para mecanismos ou estruturas coplanares)

$$GL = [3 (N - 1) - (2 P_i + P_s)] + C_p$$

N = Número de elementos do mecanismo ou estrutura.

P_i = Pares inferiores.

P_s = Pares superiores.

C_p = Condição de paralelismo entre elementos móveis e iguais

C_p = 0, quando o mecanismo não possuir elementos paralelos e iguais;

C_p = **NEP** - 2 para mecanismos com 2 ou mais elementos paralelos móveis e iguais

NEP = Número de Elementos Paralelos móveis e iguais.

Fundamentos da Cinemática

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)

Forma dos pares cinemáticos:

Classifica o par cinemático para análise estrutural de GDL de um mecanismo.

$$P_i = (\sum P_1 + 2 \sum P_2)$$

É o **par** que **permite contato de superfície entre os elementos conectados pelo mesmo** (ex.: mancais/manivela ou biela, correias/polias, pistão/cilindro).

Os pares inferiores podem ser **simples (P1) ou duplo (P2)** sendo que, Pi deve ser igual ao somatório de P1 mais duas vezes o somatório de P2.

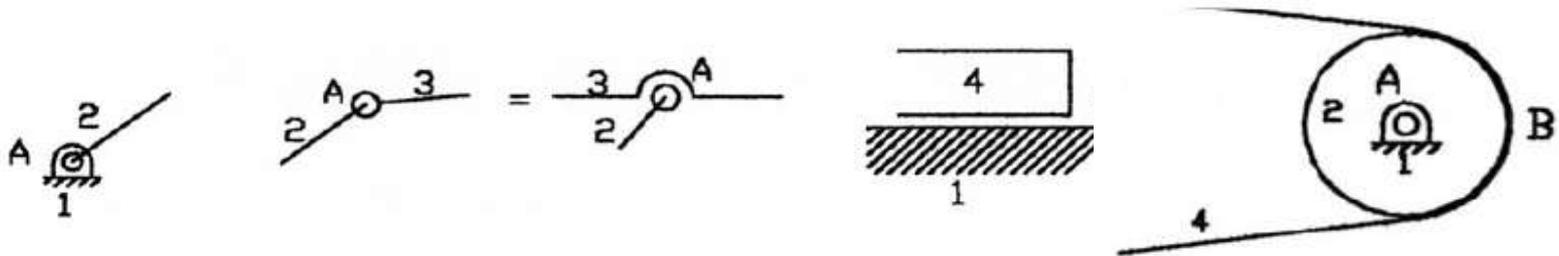
Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)

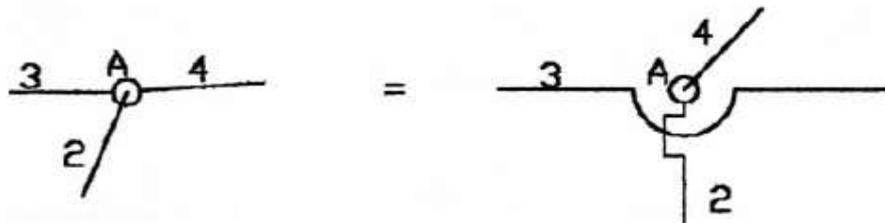
Forma dos pares cinemáticos / Pares inferiores (Pi) :

considerando, **NEC= Número de Elementos Conectados no par** temos:

1) **Par simples (P1)** $P1 = NEC - 1 = 1$ (Dois elementos acoplados pelo par)



2) **Par duplo (P2)** $P2 = NEC - 1 = 2$ (Três elementos acoplados pelo par)



Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)

Forma dos pares cinemáticos / Pares superiores (Ps) :

$$P_s = (\sum PE + \sum PC)$$

- É o **par** que permite **contato linear (linha de contato) ou puntual (ponto de rolamento) entre os elementos conectados**. (ex. engrenagens, came).

- Os pares superiores são classificados da seguinte maneira:

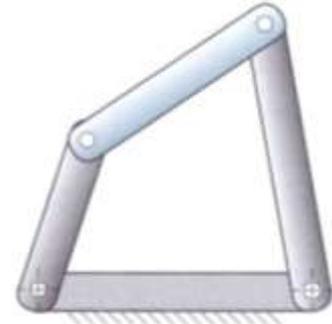
- **par de engrenagens (PE)**
- **par de came (PC)**

Introdução a Cinemática de Mecanismos

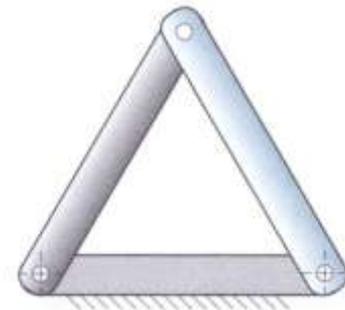
7) Mecanismos e Estruturas

Os **GDL** de uma *montagem* de elos **predizem** completamente seu **comportamento**. Há somente **três** possibilidades.

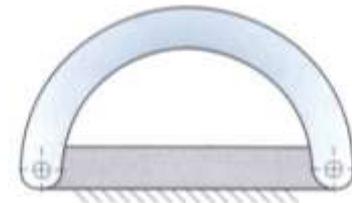
- Se o **GDL é positivo**, a montagem será um **mecanismo**, e os elos terão movimento relativo.
- Se o **GDL é exatamente zero**, então ela será uma **estrutura**, e o movimento não é possível.
- Se o **GDL é negativo**, então ela será uma **estrutura pré-carregada**, o que significa que nenhum movimento é possível e algumas tensões podem estar presentes no momento da montagem.



(a) Mecanismo — GDL = +1



(b) Estrutura — GDL = 0



(c) Estrutura pré-carregada — GDL = -1

Fundamentos da Cinemática

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)

Informações fornecidas por GL :

GL < 0 = Hiperestática – **Movimento impedido** por mais de um elemento;

GL = 0 = Isostática – **Movimento impedido** por um elemento;

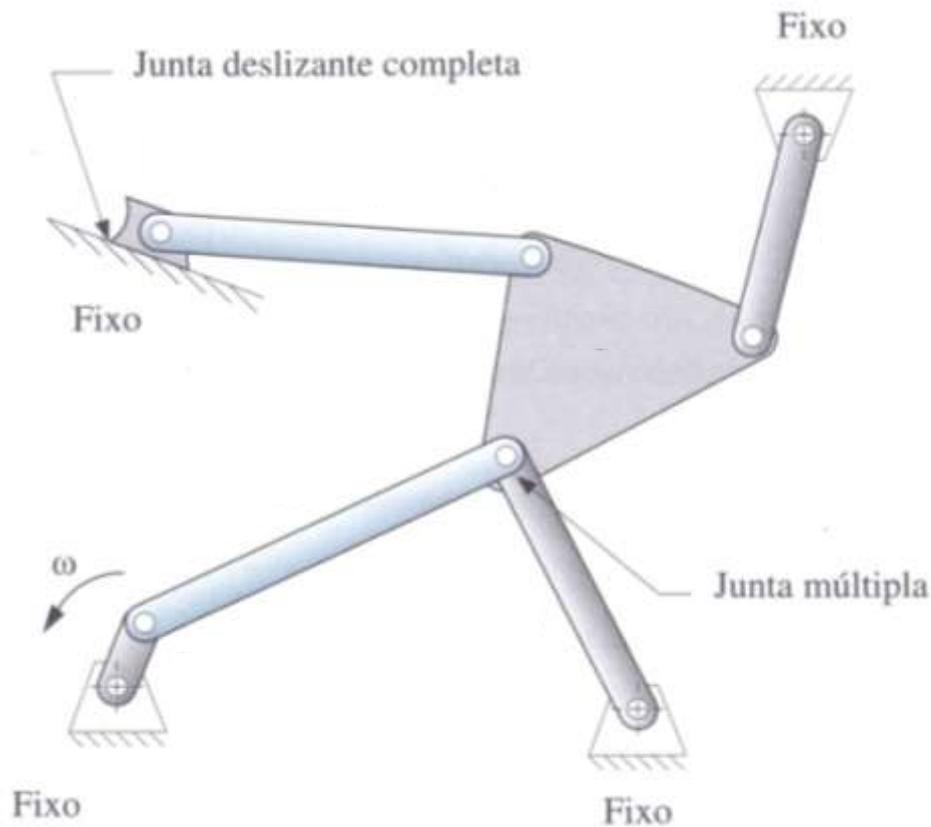
GL = 1 = Hipostático – **Mecanismo com movimento vinculado controlado** por uma única entrada (um motor ou sistema de acionamento);

GL > 1 = Hipostático – **Mecanismo com movimentos vinculados e controlados** por tantas entradas, quantos forem seus graus de liberdade.

GL = 2 (dois motores para controlar os movimentos).

Fundamentos da Cinemática

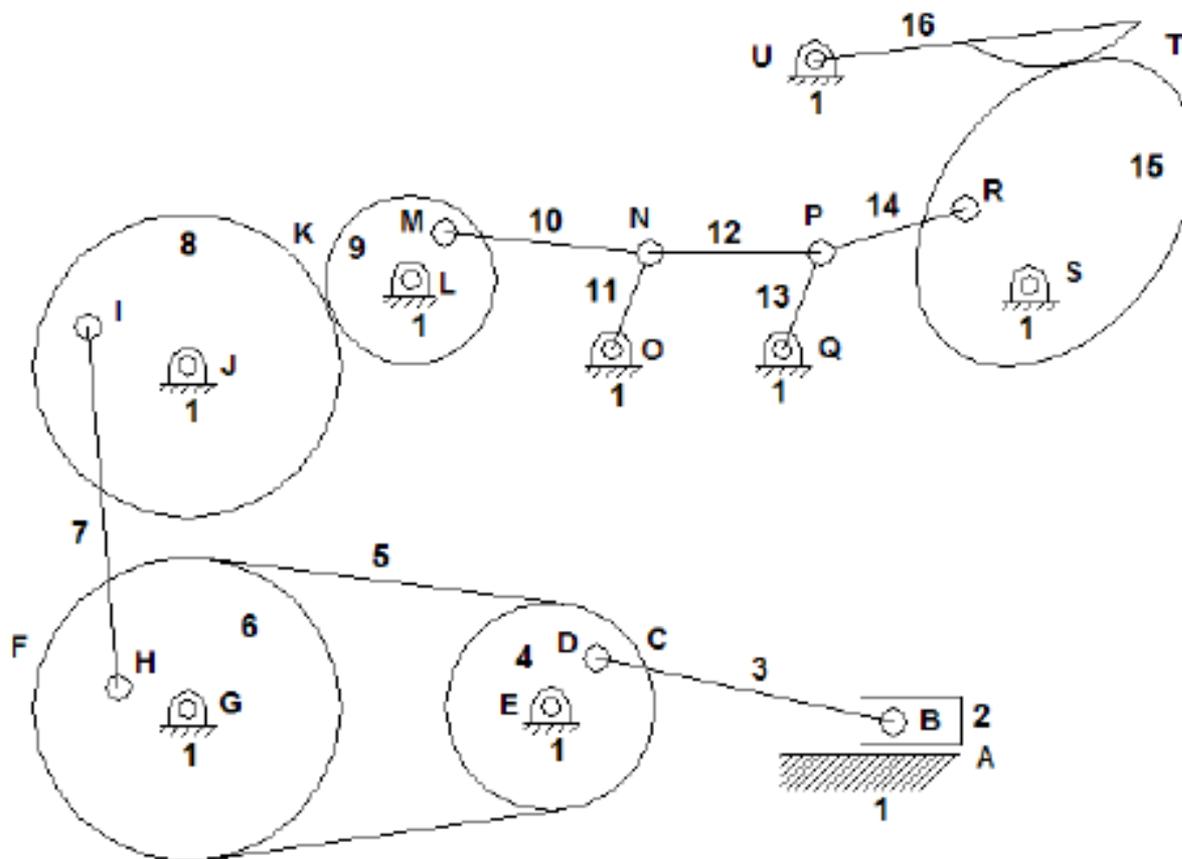
7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)



(a) Mecanismo com juntas completas e múltiplas

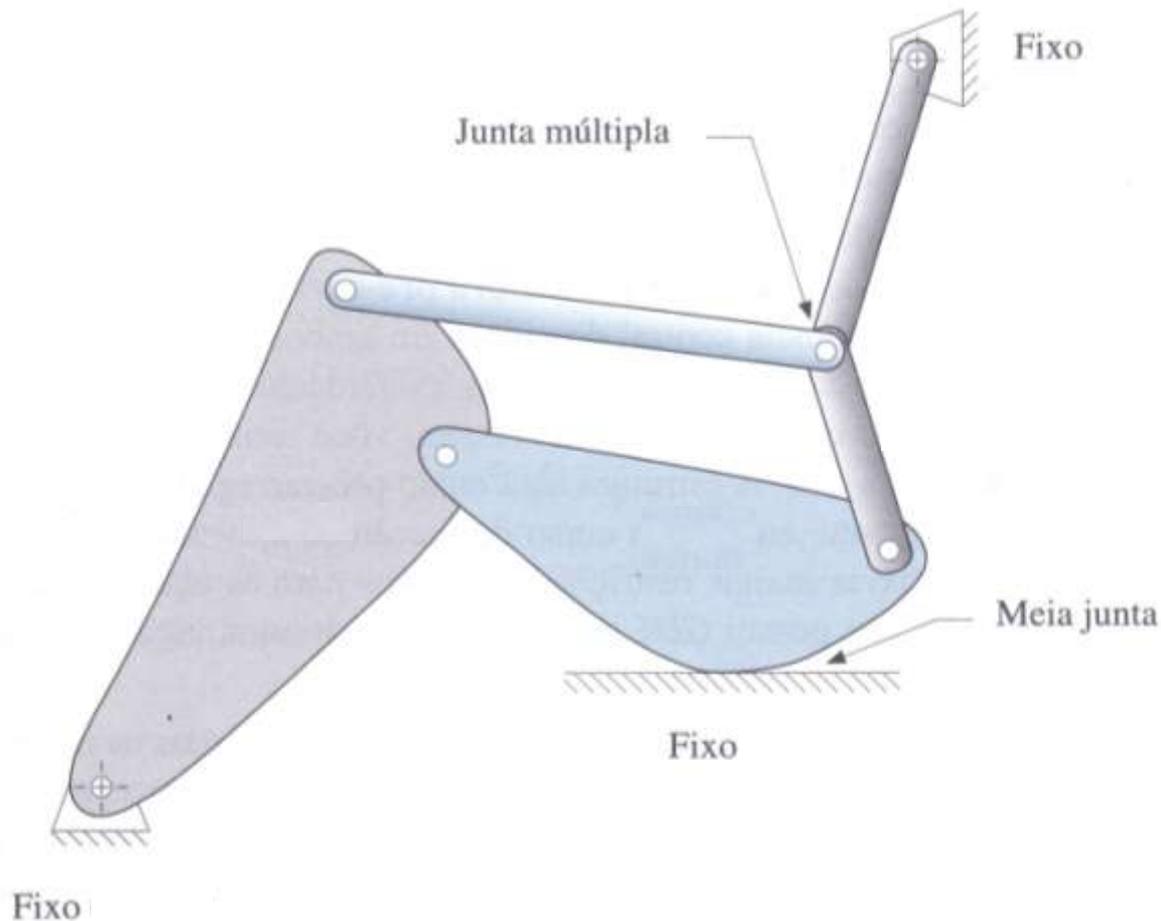
Fundamentos da Cinemática

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)



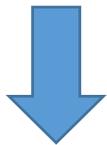
Fundamentos da Cinemática

7) Grau de Liberdade ou Mobilidade de um mecanismo (GL)



Fundamentos da Cinemática

FIM

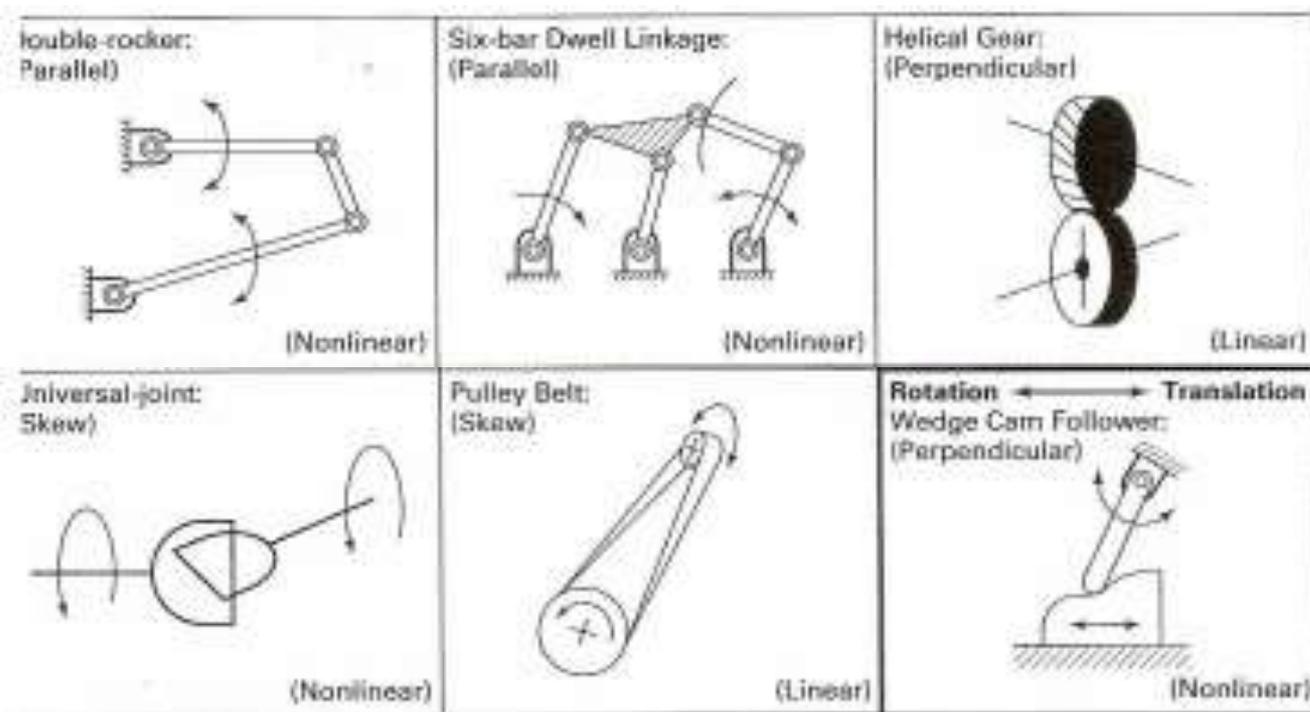


MATERIAL PROF. CRESPO

Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Tipos de Movimentos em Mecanismos

➤ Rotação para rotação



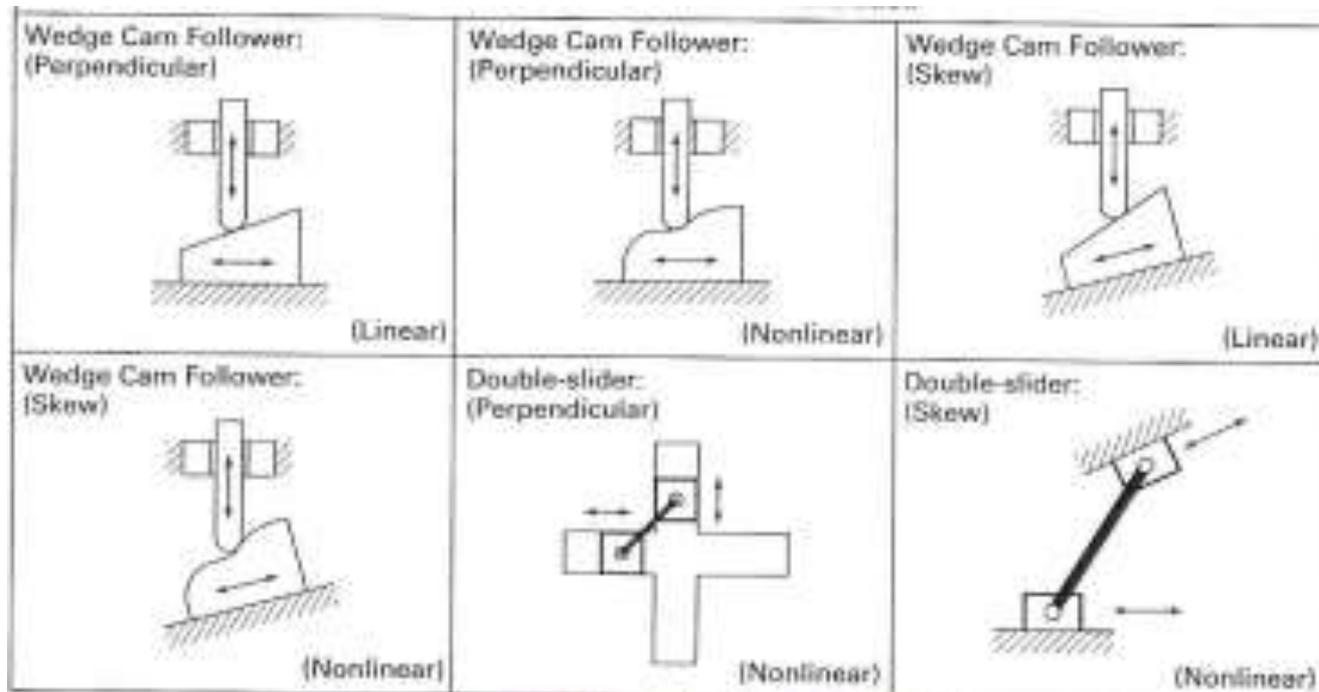
Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

G. Erdman and G.N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Prentice Hall, 2nd Edition, (1997).

Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Tipos de Movimentos em Mecanismos

➤ Translação para translação



Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

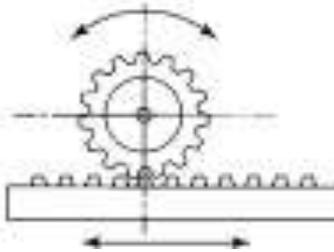
G. Erdman and G.N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Prentice Hall, 2nd Edition, (1997).

Introdução a Cinemática de Mecanismos

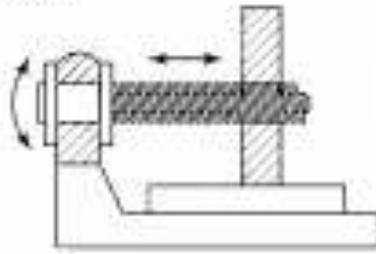
7) Tipos de Movimentos em Mecanismos

➤ Rotação para translação

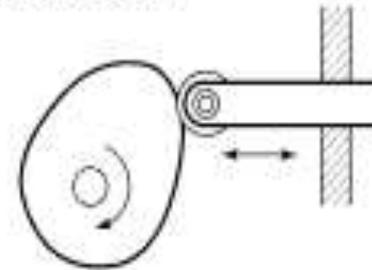
Rack-pinion:
(Perpendicular)



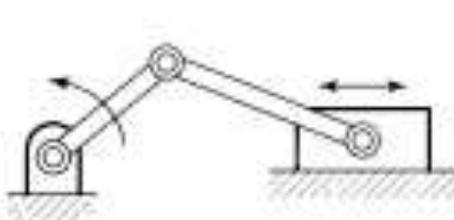
Screw Mechanism:
(Parallel)



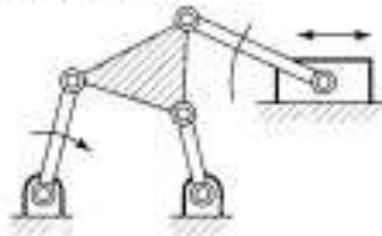
Cam Follower:
(Perpendicular)



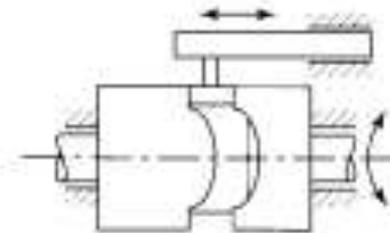
Slider-crank:
(Perpendicular)



Six-bar Dwell Linkage:
(Perpendicular)



Cylindrical Cam Follower:
(Parallel)



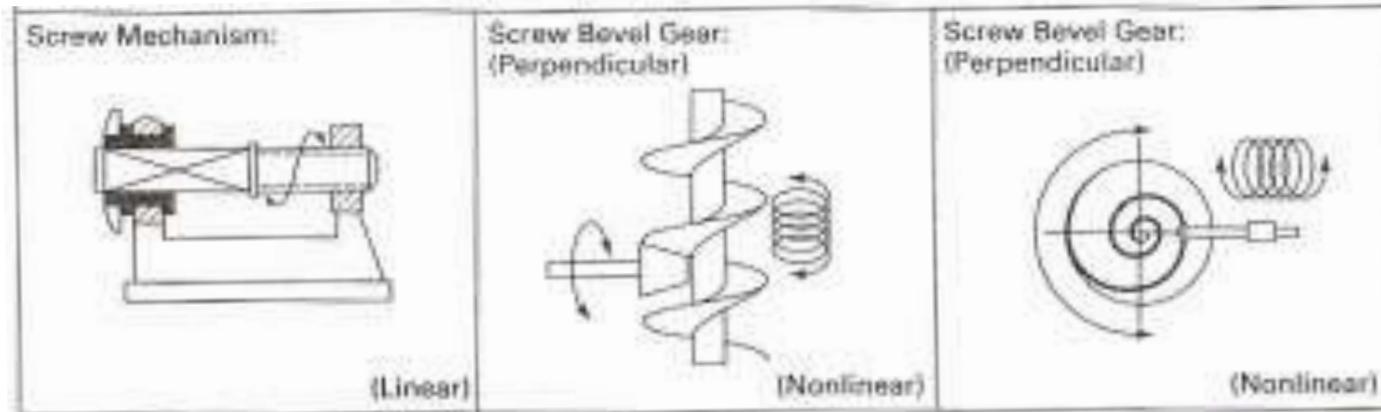
Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

G. Erdman and G.N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Prentice Hall, 2nd Edition, (1997).

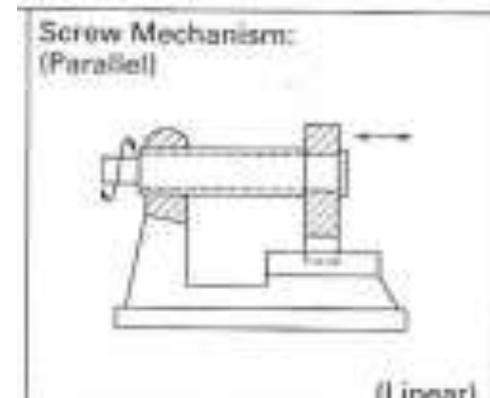
Introdução a Cinemática de Mecanismos

7) Tipos de Movimentos em Mecanismos

➤ Helicoidal para rotação



➤ Helicoidal para translação



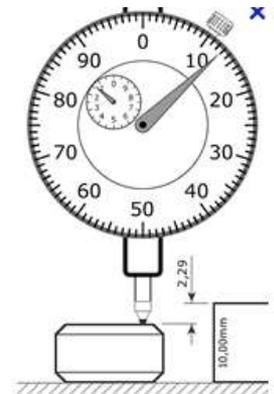
Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

G. Erdman and G.N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Prentice Hall, 2nd Edition, (1997).

Introdução a Cinemática de Mecanismos

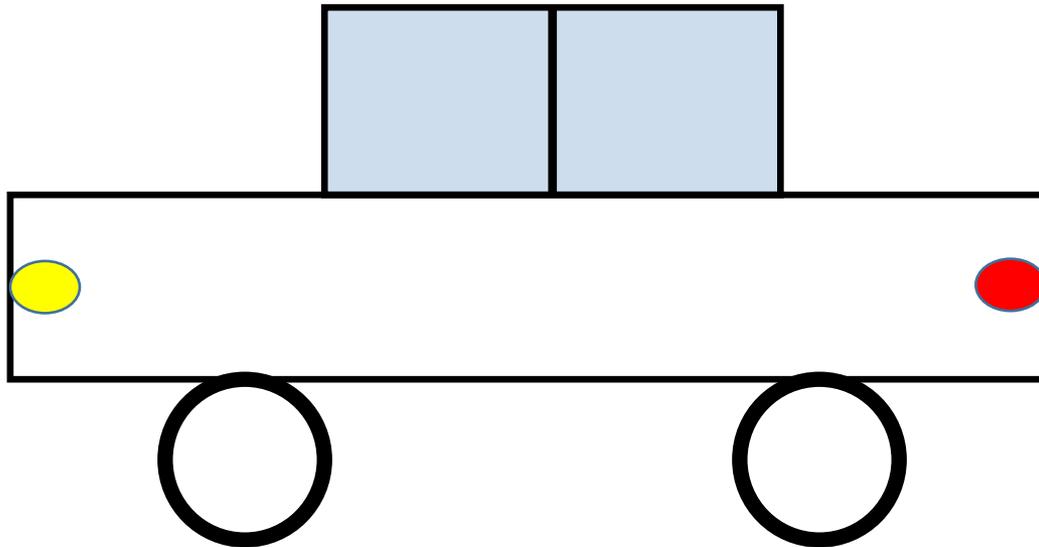
6) Aplicações de Mecanismos

O campo de aplicações dos **mecanismos** é muito grande e **abrange**, praticamente, todos os setores de engenharia mecânica.



Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Aplicações de Mecanismos

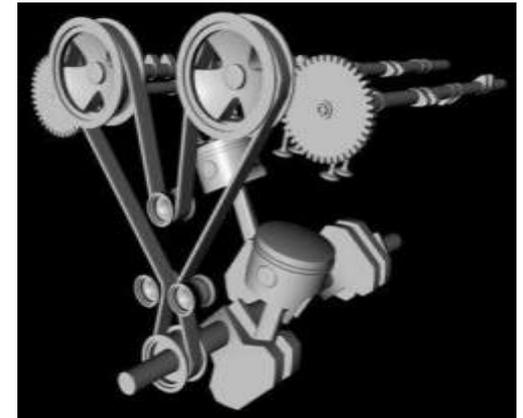


Vamos pensar num veículo automotivo?

Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Aplicações de Mecanismos

Em um **veículo automotivo** temos, por exemplo:



Ademais,

Sistema de tração

Fechaduras

Comando do câmbio

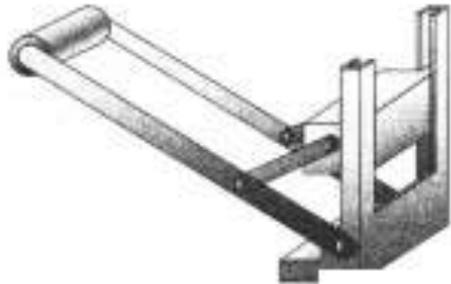
Dobradiças

Entre outros....

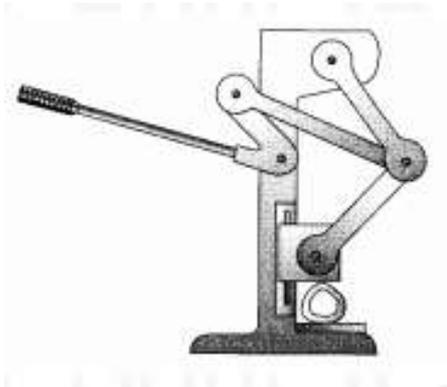
Levantador de vidro

Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Aplicações de Mecanismos: Exemplos



Amassador de Latas



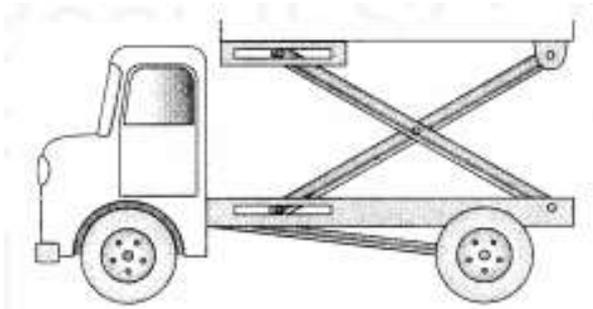
Prensa

Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

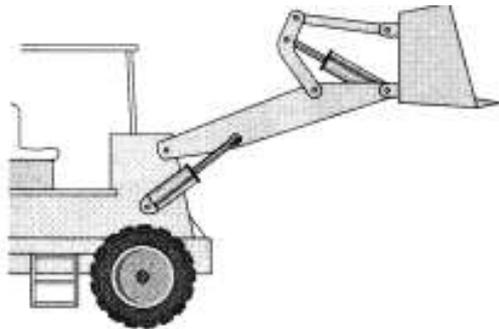
Boni, P.– Notas de aula – **Mecanismos e Dinâmica de Máquinas**. Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Aplicações de Mecanismos: Exemplos



Plataforma de Elevação



Prensa

Obs: As imagens foram retiradas da seguinte fonte bibliográfica:

Boni, P.– Notas de aula – **Mecanismos e Dinâmica de Máquinas**. Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Introdução a Cinemática de Mecanismos

4) Mecanismos (Definições):

➤ **Mabie e Reinholtz**

definem **mecanismo** como a **parte do projeto** de uma **máquina** relacionada com a **cinemática e cinética de mecanismos articulados**, comes, engrenagens e trens de engrenagens.

➤ **Wilson e Sandler**

consideram um **mecanismo** como um **componente de uma máquina** que consiste de **dois ou mais corpos arranjados** de tal maneira que o **movimento de um, ou mais,** destes corpos **implique no movimento dos demais.**

Obs: Os conceitos foram retirados da seguinte fonte bibliográfica:

H.H. Mabie and C.F. Reinholtz, Mechanisms and Dynamics of Machinery, John Wiley & Sons 1998.

C.E. Wilson and J.P. Sandler, Kinematics and Dynamics of Machinery, second edition, Harper Collins Publishers, 1991.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

4) Mecanismos (Definições):

➤ Martin

relaciona mecanismo ao termo **cadeia cinemática** como um **sistema de corpos rígidos ligados entre si** ou em contato direto de tal maneira que se **permite o movimento relativo entre eles**.

➤ Erdman e Sandor

definem mecanismo como **um dispositivo** capaz de **transmitir movimento e/ou força de uma certa fonte de movimento** – um motor elétrico, por exemplo – para uma saída de movimento requerida.

Obs: Os conceitos foram retirados da seguinte fonte bibliográfica:

G.H. Martin, Kinematics and Dynamics of Machines, second edition, McGraw-Hill, 1982.

G. Erdman and G.N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Prentice Hall, 2nd Edition, 1997.

Fundamentos da Cinemática

2) Premissa de Rigidez

- A **premissa de rigidez** de um **corpo** define que a distância **entre duas quaisquer de suas partículas** seja **constante** durante o movimento.
- Este **conceito ideal de rigidez** significa uma **grande simplificação** no **projeto dos mecanismos**, porém, **não é sempre aceitável**.

pois,

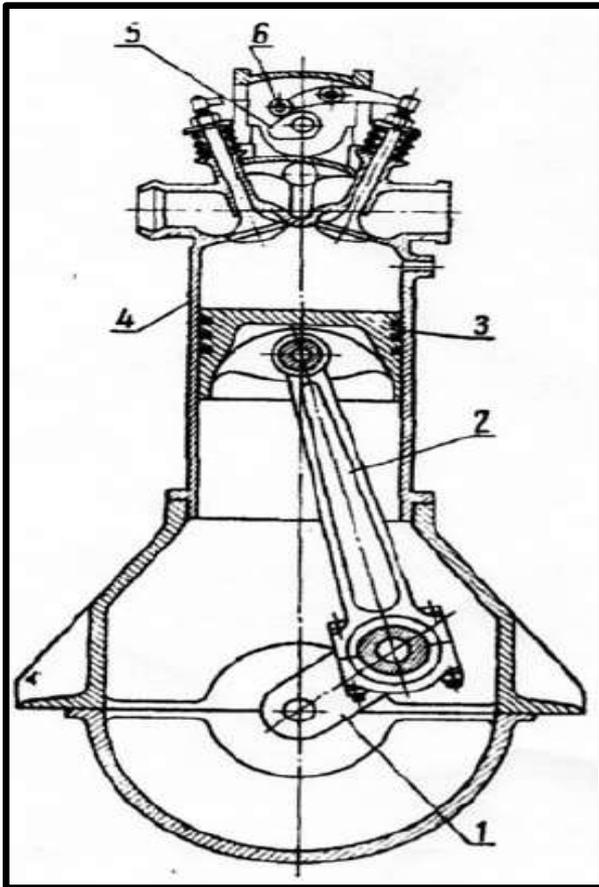
em alguns **casos** de **altas velocidades**, as **características deformáveis** dos **membros do mecanismo** terão de ser examinados e refletidos no projeto.

- A **Cineto-Elastodinâmica** estuda estes **efeitos de deformação elástica** devido à ação das **forças externas ou internas**, ou seja, de natureza estática ou dinâmica.

Introdução a Cinemática de Mecanismos

6) Representações Esquemáticas Convencionais:

Exercício 2: Represente esquematicamente os seguintes elementos do mecanismo



Base; Manivela; Biela; Pistão.
(vai pra lista)